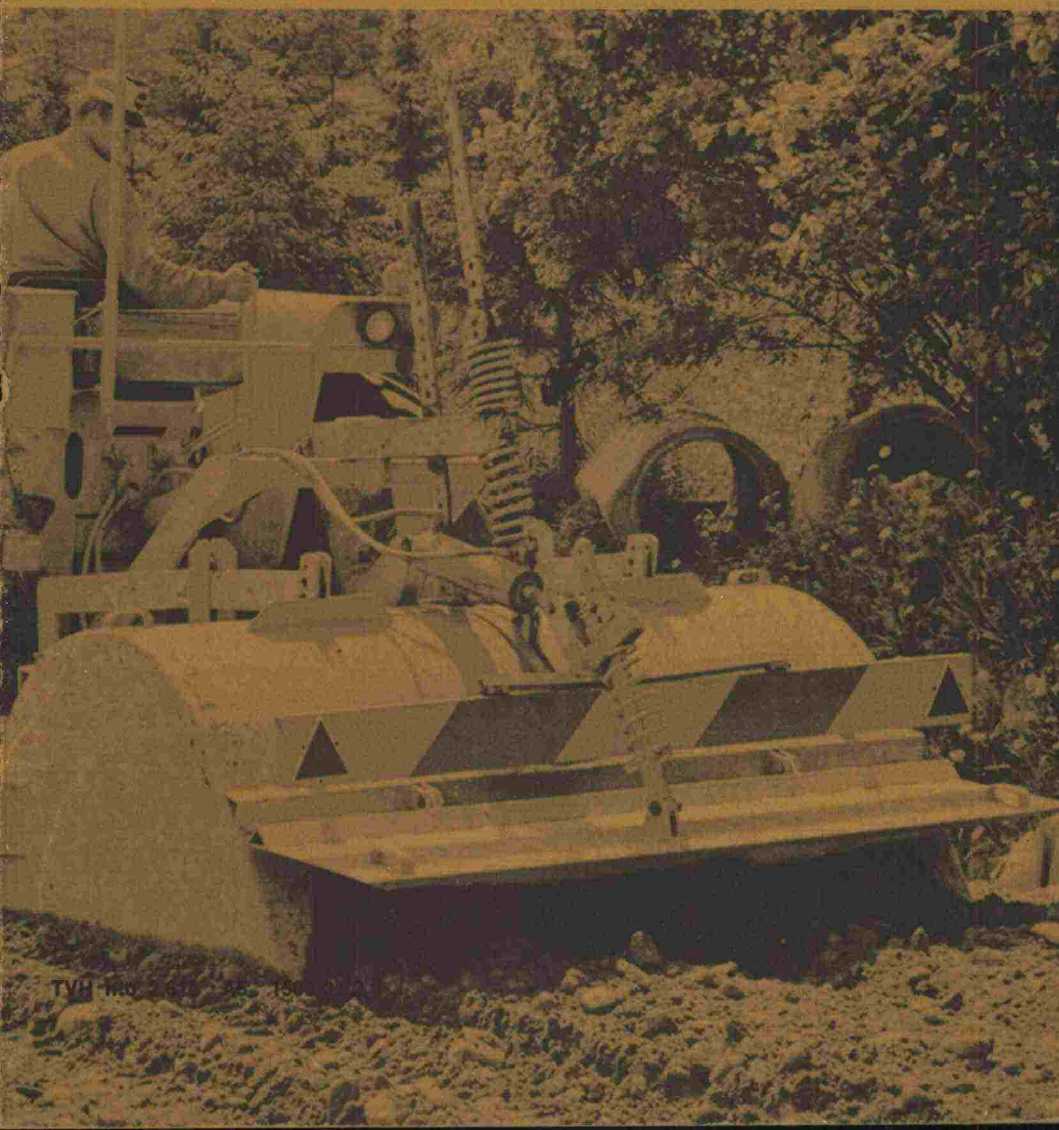


**TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
MAATUTKIMUSTOIMISTO**

STABILOINTIOHJEET

KALKKI- JA SEMENTTISTABILOINTI



**TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
MAATUTKIMUSTOIMISTO**

H. Reila

STABILOINTIOHJEET

KALKKI- JA SEMENTTISTABILOINTI

MAATUKKIMONISTO
JL. VESILÄN KIRJASTO

STABILOINTIHEIJET
PÄIKKI JA SEMENIT STABILOINTI

JOHDANTO

Maalajien lujittaminen eli stabilointi on varsin vanha työmenetelmä tie- ja lentokenttätöissä. Menetelmän yleistyminen Suomessa on kuitenkin ollut varsin hidasta mm. puutteellisten suunnittelu- ja työohjeiden vuoksi. Vuonna 1968 aloitettiin tie- ja vesirakennushallituksen maatutkimustoimistossa entistä yksityiskohtaisempien stabilointiohjeiden laatiminen selvittämällä kirjallisuus-, kenttä- ja laboratoriotutkimusten sekä suoritetuista töistä saatujen kokemusten avulla stabilointiin liittyviä perusteita ja yksityiskohtia. Näiden selvitysten pohjalta laati dipl.ins. Pekka Turunen v. 1969 diplomityön "Vanhojen saviorateiden stabiloiminen sementillä". Tämän jälkeen laati maatutkimustoimistoon muodostettu työryhmä alustavat sementtistabilointiohjeet. Työryhmään kuuluivat maarak.ins. Pekka Turunen ja tarkastaja Reijo Orama. Nämä ohjeet lähetettiin piirikonttoreille v. 1969 koekäyttöön ja lausuntoa varten. Saatujen lausuntojen pohjalta on työryhmä laatinut uudet ohjeet, joihin on lisätty sementtistabilointiohjeiden lisäksi myös ohjeet kalkkistabiloinnin suunnittelusta, toteutuksesta ja valvonnasta.

Kalkkistabilointiin liittyvä teksti on laadittu tarkoituksella oppikirjamaiseksi, jotta tämän tvl:n töissä suhteellisen vähän käytetyn stabilointimuodon edut ja tavoitteet tulisivat selvemmin esille.

1. KALKKISTABILOINTI	7
1.1 SUUNNITTELUOHJEET	7
1.11 Yleistä	7
1.12 Kalkin käytön perusteet	8
1.121 Maa—kalkkiseoksen raaka-aineet	8
1.122 Maarakennusteknisten ominaisuuksien parantaminen	10
1.123 Maalajin lujittaminen kalkilla	14
1.13 Ennakkotutkimukset	16
1.131 Näytteiden otto — kantavuusmittaukset	16
1.132 Laboratoriokokeet	17
1.2 TYÖN SUORITUS	20
1.21 Esityöt	20
1.22 Varsinainen lujittaminen	21
1.221 Kalkin levitys	
1.222 Kalkin ja maan sekoitus	22
1.223 Maa—kalkkiseoksen tiivistäminen	22
1.23 Jälkihoito kalkkilujituksessa ..	23
1.3 VALVONTA KALKKILUJITUKSESSA	23
1.31 Yleistä	23
1.32 Valvonta muokkauksen ja sekoit- uksen aikana	25
1.33 Tiiviys- ja lujuustarkkailu	26
1.34 Valvonta lujituksen jälkeen	26
2. SEMENTTISTABILOINTI	28
2.1 SUUNNITTELUOHJEET	28
2.11 Yleistä	28

2.12	Sementin käytön perusteet	29
2.121	Maa—sementtiseoksen raaka-aineet	29
2.122	Sementillä sidotut kerrokset	31
2.123	Sementtistabilointiin liittyvät erityiskysymykset	34
2.13	Ennakkotutkimukset	34
2.131	Näytteiden otto — kantavuusmittaukset	34
2.132	Laboratoriokokeet	36
2.2	TYÖN SUORITUS	39
2.21	Yleistä	39
2.22	Esityöt	40
2.23	Varsinainen lujittaminen	41
2.231	Sementin levitys	41
2.232	Maan ja sementin sekoitus	42
2.233	Maa—sementtiseoksen tiivistäminen ..	42
2.234	Työsaumat	43
2.24	Maabetonin jälkihoito	44
2.25	Asemasekoitusmenetelmä	45
2.3	VALVONTA SEMENTTILUJITUKSESSA	46
2.31	Yleistä	46
2.32	Valvonta muokkauksen ja sekoituksen aikana	47
2.33	Tiiviys- ja lujuustarkkailu	48
2.34	Valvonta lujituksen jälkeen	49
2.35	Valvonta asemasekoitusmenetelmässä	50
2.36	Kustannustarkkailu ja selvitykset	50
3.	KIRJALLISUUTTA	51

2.12	Sementin käytön perusteet	29
2.121	Maa—sementtiseoksen raaka-aineet	29
2.122	Sementillä sidotut kerrokset	31
2.123	Sementtistabilointiin liittyvät erityiskysymykset	37
2.13	Ennakkotutkimukset	37
2.131	Näytteiden otto — kantavuusmittaukset	37
2.132	Laboratoriokokeet	39
2.2	TYÖN SUORITUS	43
2.21	Yleistä	43
2.22	Esityöt	44
2.23	Varsinainen lujittaminen	45
2.231	Sementin levitys	45
2.232	Maan ja sementin sekoitus	47
2.233	Maa—sementtiseoksen tiivistäminen ..	47
2.234	Työsaumat	48
2.24	Maabetonin jälkihoito	49
2.25	Asemasekoitusmenetelmä	50
2.3	VALVONTA SEMENTTILUJITUKSESSA	51
2.31	Yleistä	51
2.32	Valvonta muokkauksen ja sekoituksen aikana	52
2.33	Tiiviys- ja lujuustarkkailu	53
2.34	Valvonta lujituksen jälkeen	54
2.35	Valvonta asemasekoitusmenetelmässä	55
2.36	Kustannustarkkailu ja selvitykset	55
3.	KIRJALLISUUTTA	56

STABILOINTIOHJEET

Kalkki- ja sementtistabilointi

0. YLEISTÄ

Nämä ohjeet käsittelevät kalkki- ja sementtistabilointitöiden suunnittelua, suoritusta ja valvontaa. Suunnitteluohjeet käsittelevät kalkin ja sementin vaikutusta eri maa-aineksiin sekä erilaisten stabiloitujen rakenneosien lujuus- ym. vaatimuksia. Erillistä stabilointityötä varten tarvittavat ennakkotutkimusohjeet sisältyvät myös suunnitteluohjeisiin. Myöskin työn suoritusta ja valvontaa koskevat ohjeet ovat erikseen kalkki- ja sementtistabilointia varten.

Jokaisella maalajilla on määrätty kantokyky, joka riippuu maalajin sisäisestä rakenteesta, rakeisuudesta, rakeiden muodosta, vesipitoisuudesta sekä ulkoisista tekijöistä. Kaikkien maalajien lujuus ja tilavuus muuttuvat ympäristötekijöiden: vettymisen, jäätymisen, kuorituksen jne. vaikutuksesta. Stabiloinnilla eli lujittamisella pyritään rajoittamaan lujuuden ja tilavuuden muutoksia niin, että syntyvät muodonmuutokset pysyvät tasaisina ja sellaisina, että ne eivät johda haitallisiin vaurioihin rakenteessa.

Kalkkia käytetään etupäässä sitovia aineksia sisältävien ja herkästi häiriintyvien maalajien ominaisuuksien parantamiseen ja lujittamiseen, kun taas sementti soveltuu parhaiten sideaineeksi silloin, kun on kysymys kitkamaalajien lujittamisesta eri rakennekerroksissa. Silttimaalajien ollessa kysymyksessä sideaineen valinta riippuu siitä, halutaanko parantaa vain maalajin työstettävyyttä ja tiivistysominaisuuksia vai saada sille nopeasti riittävän suuri puristuslujuus. Yleensä sementillä saadaan humusvapaissa, laihaa savea karkeammissa maalajeissa suurempi puristuslujuus kuin vastaavalla määrällä kalkkia.

1. KALKKISTABILOINTI

1.1 SUUNNITTELUOHJEET

1.11 Yleistä

Maaperän kantavuuden, routivuuden ja tasaisuuden vaihteluihin liittyvät ensisijaisesti ne probleemat, joihin tienraken-

nuksessa ja yleensäkin maarakennuksessa tulee kiinnittää huomiota. Käytettäessä luonnon maaperää sellaisenaan ajoratana sen kantavuuserot ja pinnan epätasaisuudet johtavat nopeasti ajokelpoisuuden vähenemiseen. Epätasaisuudet aiheuttavat kuormitusiskuja, jotka lisäävät nopeasti epätasaisuutta. Myös taipuisien päällysrakenteiden vauriot johtuvat suurimmaksi osaksi pohjamaan epähomogeenisuudesta. Alunperin tiivis rakenne löyhtyy aikaisemmin mainittujen ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta. Roudan sulamisaikana rakenteen kuorittaminen aiheuttaa siihen pysyviä vaurioita, jotka ilmenevät painanteina ja päällysteen rikkoutumisina. Mikäli päällysrakenteen alin kerros on ns. sidottu kerros, voi se taivutusvetolujuutensa ansiosta paremmin estää alusrakenteen löyhtymistä jäätymis- ja sulamisvaiheiden aikana.

Kalkilla lujitetulla maa-aineksella ei ole kuitenkaan niin suurta vetolujuutta, että se pystyisi estämään muodonmuutokset alusrakenteessa. Kalkin avulla saadaan kuitenkin plastiset, sitovat maalajit muutetuksi olomuodoltaan kiinteämmiksi, jolloin ne voidaan tiivistää kantavaksi pengeralustaksi, jonka kantavuus säilyy myös roudan sulamisaikana riittävän suurena. Vaikka kalkkistabilointi ei ratkaisevasti parannakaan maalajin routastabilisuutta, tasoittaa se kuitenkin maapohjan kantavuus- ja routivuuseroja. Kalkkikäsittelyllä saadaan myös leikkauksista tulevat, liian märät maat kuivatetuksi ja otetuksi käyttöön pengermateriaaleina. Kalkin tarkoituksenmukaisen käytön ja työn oikean suoritustavan kannalta on välttämätöntä tuntea kalkin vaikutustapa ja sen käyttöön liittyvät rajoitukset.

1.12 Kalkin käytön perusteet

1.121 Maa—kalkkiseoksen raaka-aineet

Kiviaines

Kalkilla lujittamiseen soveltuvat hienojakoiset koheesio- ja silttimaalajit, joita ei sellaisenaan voida käyttää tierakentisiin. Lihava savi on tiiviytensä ja tarttuvuutensa takia vaikea sekoittaa koneellisesti. Kuitenkin työmaa- ym. tilapäisillä teillä saattaa savenkin lujittaminen tulla kysymykseen, sillä niissä olosuhteissa voidaan tinkiä sekoituksen homogeneisuudesta. Niillä karkearakeisilla maalajeilla, jotka ovat luji-

tuksen tarpeessa, kalkin käyttömahdollisuuden ratkaisee kaksi seikkaa: sisältääkö maa-aines riittävästi reaktioaktiivisia aineksia ja toiseksi, onko maa-aineksen kivisyys niin pieni, että työn suorittaminen käytännössä on mahdollista. Kiviaineksen sisältämän humuksen suhteen kalkki ei ole niin arka kuin sementti. Osa kalkista tosin kuluu humuksen neutralointiin, mutta humus ei estä muiden reaktioiden tapahtumista, mikäli kalkkia on vielä käytettävissä. Humus siis lisää reagoimattoman osuuden määrää maa-aineksessa ja siten vähentää lujutusta. Humuspitoisuudella ei ole suurta merkitystä maalajin ominaisuuksia parannettaessa, mutta maksimilujuuteen ja käytettävään kalkkimäärään sillä voi olla huomattava vaikutus. Liejuisten ja juoksevassa tilassa olevien maalajien lujittamiseen kalkki ei sovellu.

Kalkilla voidaan lujittaa maalajit, joiden rakeisuuskäyrän alaosa sijaitsee alueella C kuvassa 4. Hienoainepitoisuus on siis ratkaiseva. Sen tulisi olla 0,074 mm □ kohdalla mieluiten yli 35 %.

Kalkki

Stabilointitarkoituksiin käytetään kahta kalkkilaatua: poltettua kalkkia (CaO = sammuttamaton kalkki) ja sammutettua kalkkia (Ca(OH)_2 , kauppanimeltään hienokalkki). Teknisessä mielessä ne eivät ole täysin samanarvoisia, vaan 1 osa CaO vastaa 1,32 osaa Ca(OH)_2 . Siis 1 kg CaO on vaikutukseltaan samanarvoinen kuin 1,32 kg Ca(OH)_2 . Edellisten lisäksi on olemassa ns. hydraulisia kalkkeja, joille on ominaista alhainen CaO -pitoisuus. Ne sisältävät lisäksi samoja komponentteja kuin sementti, joten käytännössä ne voidaan korvata usein sementillä. Hydraulisia kalkkeja käytetään sellaisten maalajien stabilointiin, joiden plastisuusluku on 0—17. Hydraulisia kalkkilaatuja ei kuitenkaan ole Suomessa saatavissa kuin erikoistilauksesta.

Reagoidakseen maalajin hienojakoisimman osuuden kanssa kalkin tulee olla hydraattina, Ca(OH)_2 , josta muodosta se voi helposti hajaantua. Käytettäessä poltettua kalkkia stabilointiin tulee sen ensin "sammua", jotta ionivaihdosreaktiot voisivat alkaa. CaO sitoo sammuessaan vettä ja luovuttaa samalla runsaasti lämpöä. Näin ollen sitä voidaan käyttää hyvin kosteiden koheesiomaalajien käsittelyyn myös viileänä

aikana, jolloin lämmön säilymistä lujitetussa kerroksessa voidaan vielä edistää päällepantavalla hiekka- tai sorakerroksella. Poltetun kalkin käyttö on kuitenkin hankalampaa suuren reaktioherkkyytensä sekä silmiä ja hengityselimiä ärsyttävän vaikutuksensa takia. Suurempien sideainemäärien ollessa kysymyksessä kannattaa kuitenkin harkita poltetun kalkin käyttöä kuljetuskustannuksissa saatavien säästöjen takia. Tehokkaampaa poltettua kalkkia tarvitsee kuljettaa vain 76 % sammutetun kalkin määrästä.

Käytettävän kalkin tulee olla mahdollisimman puhdasta ja hienojakoista. Sen läpäisyprosentin 0,074 mm □ kohdalla tulee olla vähintään 60. Tavallisesti sammutettu kalkki sisältää n. 80 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ja loppuosa CaCO_3 , silikaatteja, metallien oksideja sekä kalkkikiven polton yhteydessä tulleita muita epäpuhtauksia.

Vesi

Stabilointiin käytettävän veden tulee olla puhdasta. Humuspitoisia vesiä, samoin kuin teollisuuslaitosten läheisyydessä olevia jätevesiä tulee välttää. Meriveden käyttö voi joissakin tapauksissa olla jopa suositeltavaa.

Lisäaineet

Mikäli kalkilla ei saada aikaan riittävää lujuutta, voidaan reaktioita kiihdyttää lisäaineilla esim. lentotuhkalla tai hienoksi jauhetulla masuunikuonalla. Silttien ja moreenien lujittamisessa saattaa sementti syrjäyttää kalkin pyrittäessä suureen puristuslujuuteen.

1.122 Maarakennusteknisten ominaisuuksien parantaminen

Maalajin sisäinen rakenne, rae- ja mineraalikoostumus, humuspitoisuus ja vaihtokykyisten ionien laatu ja määrä vaikuttavat ratkaisevasti hiukkasiin kiinnittyneen veden määrään, siis luonnolliseen vesipitoisuuteen. Näistä tekijöistä riippuvat mm. plastisuus, koheesio-ominaisuudet, eroosio- ja häiriintymisherkkyyys sekä sulloutuvuus. Näihin ominaisuuksiin liittyviä haittoja pyritään pienentämään kalkin avulla.

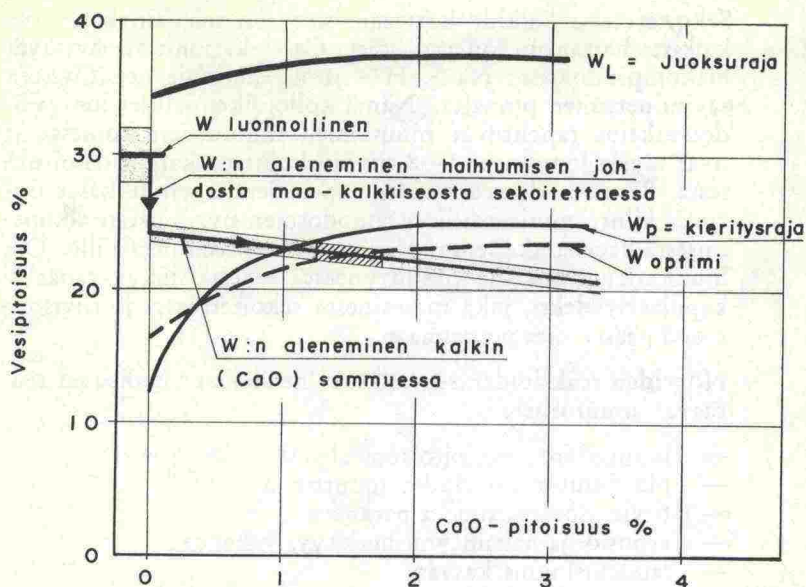
Sekoitettaessa kalkkia kosteaan, sitovaan maa-ainekseen osa kalkista hajaantuu ioneiksi, joista Ca^{++} -kationit syrjäyttävät heikompisidoksiset Na^{+} -, H^{+} - ja K^{+} -kationit negatiivisten savimineraalien pinnalta. Nämä kolloidikemialliset ionivaihdosreaktiot tapahtuvat muutamien minuuttien kuluessa ja ovat täysin loppuneet 4—8 tunnin kuluttua kalkin sekoituksesta. Ionivaihdosreaktioiden tapahtuessa savihiukkaset liittyvät kiinteämmin toisiinsa muodostaen pysyväisesti alkupe-
räisestä karkearakeisemman sisäisen rakenteen maalajille. Osa hiukkasten ympärille kiinnittyneestä vedestä siirtyy vapaaksi kapillaarivedeksi, joka maa-ainesta sekoitettaessa ja tiivistet-
täessä pääsee siitä poistumaan.

Nopeiden reaktioiden seurauksena maalajissa tapahtuvat seuraavat muutokset:

- luonnollinen vesipitoisuus alenee
- plastisuusominaisuudet muuttuvat
- tiivistysominaisuudet paranevat
- eroosio- ja häiriintymisherkkyys vähenee
- leikkauslujuus kasvaa

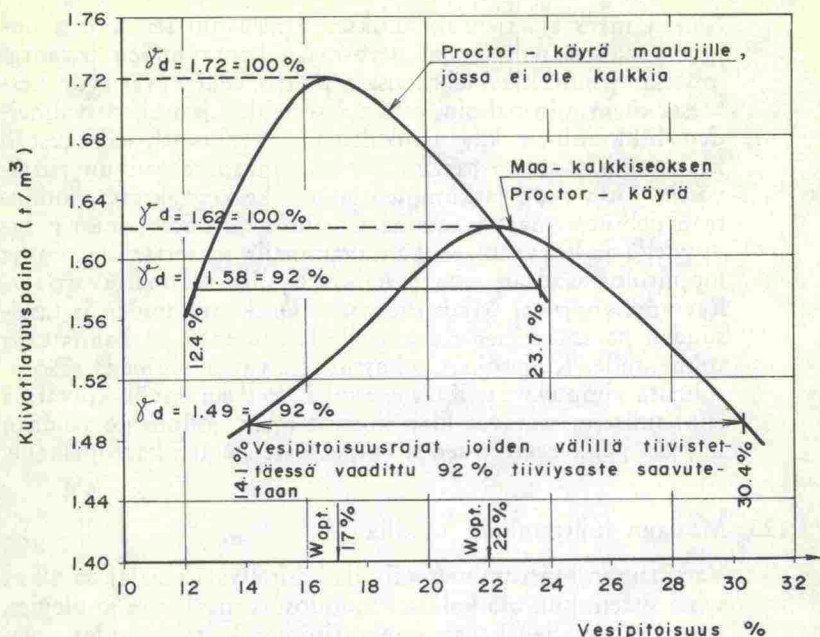
Kalkilla käsitellyn maa-aineksen vesipitoisuus pienenee 4—10 prosenttiyksikköä riippuen kalkkimäärästä, sääolosuhteista, sekoituksen tehokkuudesta ja kestoajasta. Käytettäessä poltettua kalkkia vettä poistuu maasta myös kalkin sammutusreaktion tapahtuessa. Tämän lisäksi sammuttamisessa vapautuva suuri lämpömäärä höyrystää vettä maa-aineksesta niin paljon, että vesipitoisuuden aleneminen saattaa olla 1—2 prosenttiyksikköä käytettyä CaO -prosenttiyksikköä kohti.

Plastisuusominaisuudet muuttuvat siten, että kiinteän ja plastisen olomuodon välinen raja (kieritysraja) siirtyy ylemmäksi. Mitä suurempi on luonnollisen maan plastisuusluku, sitä suurempi on kieritysrajan kasvu. Juoksurajan siirtyminen on vähäisempää, joten plastisuusluku pienenee kalkin vaikutuksesta. Huokoisemman ja rakeisemman rakenteensa johdosta kalkilla käsitelty maalaji sietää paremmin vettä joutumatta plastiseen tilaan, kuva 1.



Kuva 1. Kalkkipitoisuuden määrittäminen maalajin ominaisuuksien parantamiseksi. (Esimerkkitapauksessa 1,5 % CaO on riittävä määrä)

Tiivistysominaisuuksien paraneminen on selvin osoitus kalkin vaikutuksesta. Tavallisesti optimivesipitoisuus kasvaa 5—10 prosenttiyksikköä samalla kun maksimikuivatilavuuspaino pienenee 3—20 % luonnollisen maan maksimikuivatilavuuspainosta. Proctorkäyrä muuttuu laakeammaksi, joten pienehkö poikkeaminen vesipitoisuuden optimista ei suuresti vaikuta maksimikuivatilavuuspainoon. Kieritysrajan ja optimivesipitoisuuden kasvamisen ja maan luonnollisen vesipitoisuuden alenemisen johdosta maan konsistenssa muuttuu plastisesta kiinteäksi. Ks. julkaisu Tvh. 2.660, osa I, luku 2.125. Määrätyllä kalkkimäärällä nämä muutokset ovat riittävän suuria, jolloin luonnollinen vesipitoisuus saavuttaa optimivesipitoisuuden ja maa-aines on tiivistettävissä suurimpaan muuttunutta optimivesipitoisuutta vastaavaan tilavuuspainoonsa, kuva 2.



Kuva 2. Tiivistysominaisuuksien muuttuminen kalkkikäsittelyn vaikutuksesta. W_{opt} kasvaa ja kuivatilavuuspaino pienenee.

Maalajin kestävyys veden aiheuttamaa eroosiota vastaan paranee oleellisesti. Kalkkimäärä, joka maalajin ominaisuuksien parantamiseen tarvitaan, ei vielä riitä parantamaan sen routimisominaisuuksia sanottavasti. Silttimaissa ionivaihdosreaktioiden (nopeiden reaktioiden) tapahduttua routimismousu on jopa suurempi kuin luonnollisen maan routimismousu.

Mikäli routastabiilisuuden saavuttaminen ei ole ensisijainen tehtävä, riittää kohdan 1.122 alussa mainittujen ominaisuuksien parantamiseen tavallisesti 1—4 painoprosenttia hienokalkkia ($Ca(OH)_2$) kiviaineksen maksimikuivatilavuuspainosta laskettuna.

Kalkin merkitys tienrakennuksessa perustuu sen avulla nopeasti saatavaan hyötyyn perusmaan kantavuuden parantamisessa. Esimerkiksi leikkausten pohjat velliytyvät työn kestäessä usein niin pahoin, että työkoneiden ja kuljetusvälineiden liikkuminen käy hankalaksi. Tavallisesti leikkaustyö keskeytetään siihen saakka, kunnes maaperä kuivuu riittävästi. Jotta työn jatkuminen sujuisi keskeytyksettä, joudutaan pehmeät maat poistamaan vähintään puolet metrin syvyydeltä ja korvaamaan kantavammalla materiaalilla. Sama lopputulos saadaan aikaan kalkin avulla huomattavasti lyhyemmässä ajassa. Myös työmaateiden kantavuuden ja tasaisuuden parantaminen sideaineella lujittamalla on kannattava toimenpide. Kuljetukset tehostuvat eivätkä ole enää sääolosuhtista riippuvaisia. Kalkin avulla voidaan myös kuivattaa leikkauksesta saatavat liian kosteat maat, jolloin ne voidaan käyttää penkereeseen sen sijaan, että ne ajetaan kaatopaikalle.

1.123 Maalajin lujittaminen kalkilla

Varsinainen lujittuminen kalkilla käsitellyssä maalajissa alkaa vasta sitten, kun osa kalkista muodostaa maalajissa jo olevien saven mineraalien kanssa sementtiliiman kaltaisen sideaineen, joka sitomalla lujittaa maa-aineksen. Lujittuminen, joka voi kestää 1—3 vuotta 15—20°C lämpötilassa, riippuu lähinnä nk. potsolaanireaktioiden runsaudesta. Nämä hitaat reaktiot tapahtuvat vielä vapaana olevien Ca^{++} -ionien ja saven mineraalien, silikaattien ja aluminaattien kesken. Savimineraalien määrä ja reaktiokyky on hyvin erilainen eri maa-aineksissa. Tästä syystä lujituksen kehitys voi olla hyvin vaihteleva erilaisilla koheesio- ja silttimaalajeilla.

Ionivaihdosreaktioiden ja potsolaanireaktioiden ohella tapahtuu vielä kalkin (CaCO_3) poltolle vastakkainen reaktio CaO :n ja hiilidioksiidin välillä. Kun maa-ainekseen sekoitettu kalkki pääsee ilman hiilidioksiidin kanssa yhteyteen, syntyy reaktion tuloksena kalsiumkarbonaattia. Karbonatisoitumista tapahtuu pääasiassa vain lujitetun kerroksen pintaosassa, mikäli maa—kalkkiseos tiivistetään 1—2 vrk:n kuluessa kalkin sekoituksesta.

Koheesioaineisia sisältävän maan leikkauslujuus määräytyy sekä koheesiosta että sisäisestä kitkasta. Silttimaissa kalkin vaikutus leikkauslujuuteen ilmenee koheesio-osuuden kasva-

misena, mutta hyvin plastisissa maissa myös sisäinen kitkukulma suurenee. Kalkkistabiloinnissa puristuslujuusvaatimus routastabilisuuden saavuttamiseksi on erilainen eri maalajeilla. Hienojakoisella maa-aineksella lujuusvaatimus on pienempi kuin karkearakeisilla aineksilla. Kalkilla lujitetun kerroksen kestävyys routavaikutuksia vastaan riippuu siitä, onko sitomisaika ollut riittävän pitkä ennen kerroksen jäätymistä. Sitomisajan tulisi olla vähintään 2—3 kk. Sitomisajan lämpötilalla ei ole suurta merkitystä lujuuden kehittymiseen käytännössä. Vasta yli 20°C lämpötilassa reaktiot alkavat nopeutua. Maksimilujuudet, jotka pitkän ajan kuluessa saavutetaan, jäävät yleensä alle 30 kg/cm². Seitsemän vuorokauden ikäisillä koekappaleilla puristuslujuus on tavallisesti 4—10 kg/cm². Riittävän lujuuden aikaansaamiseksi kalkkia tarvitaan tapauksesta riippuen 4—12 %o. Eräillä siltimaalajeilla voi lujuus pienentyä kalkkimäärän kasvaessa. Näissä maalajeissa on vähän kalkin kanssa reagoivia hiukkasia, joten käyttämättä jäänyt kalkki hienojakoisuutensa vuoksi pienentää vain lujuutta.

Alusrakenteella tulee olla roudan sulamisaikana määrätty vähimmäiskantavuus, jotta tien rakenne ei vaurioituisi tänä aikana. Alusrakenteen päältä mitattuna E₂-arvon tulee olla roudan sulamisaikana vähintään 750 kg/cm², jotta normaaleilla rakennekerroksilla saavutetaan vaaditut kantavuusarvot. Kalkkilujituksella pyritään nostamaan routivan maan kantavuus vähintään tälle tasolle.

Kalkin avulla saatava kantavuuden lisäys voidaan arvioida pohjamaan kantavuusarvon perusteella kuvan 5 esittämästä nomogrammista.

Kalkkilujituskohteet

Valtaosa tien päällysrakenteen vaurioista syntyy roudan sulamisaikana. Näinollen perusmaan lujittamisella ja kantavuuserojen tasoittamisella on merkittävä päällysteen vaurioita estävä vaikutus. Kalkilla lujitettu perusmaa

- estää hienojen aineksien tunkeutumisen ylös rakennekerroksiin
- muodostaa kantavan kuljetustien rakennusaikana
- tekee mahdolliseksi myös alempien kerrosten tehokkaan tiivistämisen.

Kalkkia voidaan käyttää myös vähäliikenteisillä teillä (metsä-autotiet ja yksityiset tiet) jakavan tai kantavan kerroksen lujittamiseen.

1.13 Ennakotutkimukset

1.131 Näytteiden otto ja kantavuusmittaukset

Näytteiden oton tarkoituksena ei ole hakea ominaisuuksiltaan keskimääräistä maa-ainesta, jonka mukaan käytettäisiin määrättyä vesipitoisuutta ja sideainepitoisuutta koko stabilointityön aikana, vaan tarkoituksena on rajoittaa ominaisuuksiltaan erilaiset maalajit erillisiksi alueiksi, joilla käytetään niille sopivinta vesi- ja sideainepitoisuutta sekä mahdollista lisäainekäsittelyä. Mikäli on tarkoitus lujittaa pohjamaata tai vanhan savisoratien routivaa pintaosaa, tutkitaan aluksi lujitettavan kiviaineksen kivisyys, rakeisuus ja vesipitoisuus, jolloin jo voidaan arvioida kalkin käyttömahdollisuudet.

Kivisyyden tutkiminen on syytä suorittaa jo näytteiden oton yhteydessä. Tämä sen vuoksi, jos kivien määrä ($> 64 \text{ mm}$ □) osoittautuu olevan niin suuri, että niitä ei saada taloudellisesti poistetuksi, niin kyseisen kiviaineksen stabiloinnista on syytä luopua. Kivisyyttä voidaan arvioida 20—30 cm syvyyden 1 m^2 laajuisten koekuoppien avulla. Niitä tulee kaivaa lähinnä sellaisille kohdille, joissa voidaan otaksua olevan keskimääräistä enemmän kiviä. Kun kiviä esiintyy niin paljon, että maaperän muokkaustyon kustannukset alkavat vastata paikalle tuodun kiviaineksen kustannuksia, on kivien poistamisesta yleensä syytä luopua. Mikäli tien pehmeässä leikkauspohjassa kivisyys haittaa stabilointia, on stabiloinnin sijasta pehmeät maat poistettava normaalia syvemmmältä ottaen huomioon routivuus- ja kantavuusnäkökohdat.

Laboratoriokokeita varten otetaan näytteitä sellainen määrä, että ne tuovat riittävän tarkasti esiin maa-aineksen vaihtelut koko stabiloitavalla alueella. Stabilointitöihin perehtyneen henkilön tulisi johtaa näytteiden ottoa, jotta välttyttäisiin niiden kaavamaiselta otolta. Maanäytettä tarvitaan 30—40 kg. Maanäytteelle tulee asettaa mm. seuraavat vaatimukset: — näytteen tulee edustaa stabiloitavan maalajin keskimääräistä raakoostumusta ja vesipitoisuutta kullakin osaluueella

- näyttöön otto, säilytys ja laboratoriossa käsittely on suoritettava siten, että maalajin rakeisuus ja vesipitoisuus säilyvät muuttumattomina kunnes kokeet suoritetaan.

Kantavuusmittaukset

Päällysrakenteen mitoitus riippuu paitsi maapohjan routivuudesta myös sen kantavuudesta. Vanhan rakenteen kantavuus voidaan mitata joko Benkelman-palkilla tai levykuormituskokeella. Kantavuusmittaukset suoritetaan levykuormituskokeella julkaisussa Laadunvalvontaohjeet Tvh 2.816 esitetyllä tavalla vanhan rakenteen osalta enintään 100 m välein vuoroin molemmilta kaistoilta. Kantavuuskokeessa määritetään maapohjan kantavuusarvo $E_2 = E_m$. Mittaukset on pyrittävä tekemään keväällä heti, kun routa on sulanut 50 cm syvyyteen maan pinnasta. Mikäli mittaukset tapahtuvat sen jälkeen, kun routa on sulanut 1,5 m syvyyteen, on tulokset korjattava vastaamaan roudan sulamisajan kantavuutta. Vrt. julkaisu Tvh 2.630, liite 2. Perusmaan kantavuutta ei useinkaan saada mitattua sen heikon kantavuuden vuoksi eikä se ole tarpeellistakaan silloin, kun kysymyksessä on maalajin ominaisuuksien parantaminen.

1.132 Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeilla selvitetään, onko maalajin ominaisuuksien parantaminen tai maapohjan lujittaminen kalkilla tarkoituksenmukaista. Tällöin tutkitaan aluksi nopeiden reaktioiden vaikutus eri kalkkimääriä käyttäen (esim. 2,3 ja 4 % Ca(OH)_2) maalajin rakeisuuden ja tiivistysominaisuuksien muuttumiseen, ks. kuva 2.

Huomattavasti optimikosteutta kosteampien maiden tutkimisessa voidaan käyttää poltettua kalkkia, mutta yleensä tulisi käyttää sammutettua kalkkia, jotta vesipitoisuus voitaisiin määrittää mahdollisimman tarkasti koekappaleiden tekemistä varten.

Mikäli kysymys on varsinaisesta lujittamisesta, tutkitaan pitkäaikaisten reaktioiden vaikutus koekappaleiden lujuuteen sekä vedenkestävyyteen. Koekappaleet valmistetaan optimikosteudessa olevista maa—kalkkiseoksista, joissa kalkkipitoisuus on 6, 8 ja 10 %. Lujituksessa käytettävä kalkkiprosentti

saadaan selville puristuslujuus- ja vedenkestävyyskokeiden perusteella. Lujituksessa on sopivin se kalkkiprosentti, jolla veden kestävyys on suurin. Vedenkestävyydellä tarkoitetaan vedessä säilytettyjen koekappaleiden lujuuden suhdetta ilmassa säilytettyjen koekappaleiden lujuuteen. Lujuuden pysyvyys vesisäilytyksen aikana on suuresti riippuvainen yleisestä lujuuden kehityksestä.

Allaolevasta taulukosta käyvät selville ne ennakkokokeet, joilla tutkitaan kalkin käytön mahdollisuudet maalajien ominaisuuksien parantamiseksi tai maalajin lujittamiseksi.

Laboratoriokokeet		Maarak.teknisten ominaisuuksien parantaminen		Kalkilla lujittaminen	
Tutkimuskohde	Tutkimusmenetelmä	2, 3 ja 4% kalkkia	ikä pv	6, 8 ja 10% kalkkia	ikä pv
Rakeisuus	pesuseulonta areometri	X (X)	< 1	X (X)	< 1
Vesipitoisuuden määrittäminen	karbidometri uunikuivatus	(X) (X)	< 1	(X) X	< 1
Tiivistysominaisuuksien muutos	parannettu proctor	X	< 1	X	< 1
Humuspitoisuus	polttomenet. NaOH- „			(X)	< 1 ja 14
Puristuslujuus	yksinkert. puristuskoe kuivasäilytys			X	14 ja 60
Vedenkestävyys	yksinkert. puristuskoe märkäsäilytys			X	14 ja 60

Luonnollisen maa-aineksen rakeisuus, vesipitoisuus, kuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus määritetään mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Muiden kokeiden kohdalla sarakkeen "ikä"-luvut tarkoittavat kalkin lisäyksestä kulu-
nutta aikaa tai koelieriön ikää (pv) sinä päivänä, jolloin ky-
seinen koe on suoritettava. Sulkeissa olevat kokeet suori-
taan vain, mikäli siihen katsotaan olevan aihetta.

Rakeisuuden määrittäminen

Maa-aineksen rakeisuus määritetään pesuseulonnalla julkai-
sussa "Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita",
Tvh 2.660 II osa, luvussa 1.212 esitetyllä tavalla. Hieno-
ainespitoisuuden ollessa suuri rakeisuus tutkitaan areometrill-
lä, luku 1.213. Myös seuraavien kokeiden selostuksissa tar-
koitetaan em. julkaisua ellei toisin ole mainittu.

Vesipitoisuuden määrittäminen

Mikäli on kysymys maalajin kuivattamisesta tai yleensä maa-
rakennusteknisten ominaisuuksien parantamisesta, ei vesipi-
toisuuden tutkiminen ole aina tarpeen. Maa-aineksen luji-
tustapauksessa on tärkeintä selvittää maassa vallitseva vesi-
pitoisuus stabilointiajankohtana. Tällöin on otettava huo-
mioon näytteenottoajankohtana ja stabilointiajankohtana
maa-aineksessa vallitsevien vesipitoisuuksien ero, kalkin kui-
vattava vaikutus sekä sekoituksen yhteydessä haihtuvan ve-
den määrä. Mikäli vesipitoisuuden arvioidaan pienenevän
optimivesipitoisuuden alueelle, on olemassa edellytykset
maa—kalkkiseoksen tiivistämiseen. Näytteenottohetkellä
maa-aineksessa vallitseva vesipitoisuus voidaan määrittää kar-
bidometrillä, mutta maa—kalkkiseoksen vesipitoisuusmääri-
tykset on tehtävä kuivatusmenetelmällä (luku 2.132), koska
maa-aineksessa olevan kalkin (CaO) reaktiot voivat aiheuttaa
virheellisyyksiä paineeseen perustuvan mittausmenetelmän
tuloksiin kalkkiseoksella, jossa on 2, 3 ja 4 % kalkkia. Ks.
kuva 1.

Tiivistysominaisuuksien muuttuminen

Aluksi määritetään pelkän maa-aineksen ($< 16 \text{ mm}$ □) mak-
simikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus kohdan 1.33

mukaisesti. Tämän jälkeen samat määritykset tehdään maa—kalkkiseoksella (kalkkipitoisuudet 2, 3 ja 4 % tai lujituspauksessa 6, 8 ja 10 %) 1 vrk:n kuluttua kalkin sekoituksesta. Ks. kuva 2.

Humuspitoisuus

Hienojakoisten maalajien humuspitoisuus määritetään poltton menetelmällä ja karkearakeisten NaOH-menetelmällä kohdan 1.23 mukaisesti. On muistettava, että humuskoe ilmaisee vain humusaineksien olemassaolon maa-aineksessa eikä sen haitallisuuden astetta, mikä on selvitettävä puristuslujuuskokeiden perusteella.

Puristuslujuus ja vedenkestävyys

Tarvittaessa jokaisesta maalajinäytteestä valmistetaan kutakin kalkkipitoisuutta ja koestusikää kohti 4 kpl koelieriöitä, yhteensä 24 kpl. Kaksi vuorokautta ennen puristamista otetaan 2 kpl kutakin kalkkipitoisuutta edustavaa lieriötä ja sijoitetaan ne 1 vrk ajaksi 1 cm syvyiseen veteen. Koekappaleiden puristamista edeltäväksi vuorokaudeksi ne upotetaan kokonaan veteen. Muut samanaikaisesti puristettavat lieriöt säilytetään koko ajan yli 90 % suhteellisessa kosteudessa. Ilmassa säilytetyt ja vedessä säilytetyt koelieriöt yhteensä 12 kpl puristetaan 14 vrk kuluttua ja toiset 12 kpl 2 kk kuluttua koekappaleiden valmistuksesta. Kokonaan ilmassa säilytettyjen koekappaleiden lopullinen puristuslujuus jää tavallisesti 10—30 kg/cm².

Vedellä kyllästettyjen ja ilmassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuksien suhde kuvaa vedenkestävyyttä. Lujitukseen on sopivin se kalkkimäärä, jolla em. suhde on suurin.

1.2 TYÖN SUORITUS

1.21 Esityöt

Ennen varsinaista stabilointia työkohteessa joudutaan tavallisesti suorittamaan määrättyjä esitöitä. Tiealueen kuivatus, maa-aineksen esimuokkaus, alusrakenteen muotoilu ja tiivistys tulevat useimmiten kysymykseen. Esitöiden tarkoituksese-

na on luoda edellytykset stabiloinnin onnistumiselle. Tien alusrakenteen tai perusmaan lujitustapauksissa maanpinta revitään noin 20—25 cm syvyydeltä tiehöylällä tai pusku-
traktorilla ja sekoitetaan stabilointijyrsimellä. Tämän jälkeen alusrakenne muotoillaan oikeaan sivukaltevuuteen ja tiivistetään niin, että sideaineen levitysauto pystyy sen päällä liikku-
maan. Vetelissä leikkauksissa edellä esitetty menettelytapa ei käy. Tiepohjan kuivattamiseksi ja kantavuuden palauttamiseksi on tällöin levitettävä poltettua kalkkia noin 2—3 % 1 vrk
ennen varsinaista lujittamista. Kalkki voidaan levittää mm. paineilman avulla suoraan säiliöautosta letkua pitkin stabi-
loitavaan kohtaan. Ellei ole käytettävissä muita tarkoituk-
seen sopivia välineitä, kalkki on levitettävä käsin. Tällaisen esikäsitteilyn jälkeen maa kantaa jo paremmin stabilointi-
koneita, jolloin loppuosa kalkkia voidaan levittää ja stabi-
lointi suorittaa loppuun.

Esitöiden tarkoituksena on saattaa stabiloitava perusmaa tai alusrakenne mahdollisimman tasalaatuiseksi niin routimis-
ominaisuuksiltaan kuin kantavuudeltaankin. Jos rakenteen parantamistyön yhteydessä levitetään ajorataa tai tehdään oikaisuja tien linjaukseen, on pengeralustan kantavuuseroja tasoitettava tarvittaessa massanvaihtoa käyttäen. Pohjamaan tai alusrakenteen esitiivistyksellä pyritään estämään sideai-
neen levityskoneiden vajoaminen alustaan sekä tasoittamaan kantavuuseroja, jottei sekoittimen sekoitusnyvyyden säilyt-
täminen oikeassa tasossa tuota vaikeuksia.

1.22 Varsinainen lujittaminen

1.221 Kalkin levitys

Kalkkimäärä (kg/m^2) lasketaan maa-aineksen maksimikuiva-
tilavuuspainon perusteella seuraavasti:

$$K_a = h \cdot k \cdot \gamma_d$$

$$K_a = \text{kalkkia (kg/m}^2\text{)}$$

$$h = \text{lujittettavan kerroksen paksuus (dm)}$$

$$\gamma_d = \text{maa-aineksen maksimikuivatilavuuspaino (kg/dm}^3\text{)}$$

$$k = \text{kalkkiprosenttiyksikkö (\%)}$$

Esim. Kiviaineksen kuivatilavuuspaino on $1,60 \text{ kg/dm}^3$ ja
käytettävä kalkki-% on 3 % Ca(OH)_2 . Kerrospaksuuden

ollessa 20 cm on neliömetrin alalle levitettävä kalkkimäärä silloin

$$K_a = 2,0 \cdot 3 \cdot 1,60 = 9,6 \text{ kg/m}^2$$

Poltettua kalkkia (CaO) käytettäessä sideainemäärä on kerrottava vielä ekvivalenttiluvulla 0,76. Neliömetriä kohti tuleva kalkkimäärä saadaan myös sideainenomogrammista, kuva 9, käyttämällä maa—sementtiseoksen kuivatilavuuspainon paikalla pelkän maa-aineksen maksimikuivatilavuuspainoa.

Ellei ole käytettävissä sellaista sideainetta, jolla sideaineen annostus pysyy 1 prosenttiyksikön toleranssin sisällä, niin kalkki samoin kuin sementti levitetään kuorma-auton perään sijoitetulla hiekan tai suolan levittimellä. Kuorma-autoon, yhteen tai useampaan, kuormataan sellainen määrä sideainetta, joka levitettynä tietylle alueelle vastaa vaadittua sideainepitoisuutta. Pienissä kohteissa voidaan sideaineen levitys suorittaa myös käsin käyttämällä säkitettyä sideainetta, jolloin annostustarkkuus on huomattavasti parempi.

1.222 Kalkin ja maan sekoitus

Sekoituksen päätehtävänä on saada sideaine sekoitettua tasaisesti koko lujitettavaan kerrokseen ja samalla rikkoa maa-kokkareet mahdollisimman hienoksi. Mikäli massa on vielä kalkin lisäyksen jälkeenkin liian kostea, voidaan stabilointijyrsimellä massaa möyhentämällä saada vesipitoisuus alenemaan vesipitoisuuden optimialueelle. Muokkausta ei tule ulottaa tarpeettoman syvälle. Sopiva syvyys on noin 4—6 cm yli vaadittavan lujitetun kerrospaksuuden.

Mikäli kuivana aikana maa-aineksen vesipitoisuus on alle optimin, kastelu on hyvä suorittaa kalkin levityksen jälkeen sen pölyämisen estämiseksi. Poltettua kalkkia käytettäessä on käytettävä suojalaseja ja muita suojuksia kalkin syövyttävän vaikutuksen vuoksi.

1.223 Maa—kalkkiseoksen tiivistäminen

Tiivistäminen tulee suorittaa suhteellisen pian kalkin sekoituksen jälkeen. Sateen sattuessa tiivistetty pinta johtaa suu-

rimman osan vedestä tien sivulle eikä tiepohja pääse pehmenemään lisää. Löyhään tilaan jätetyssä maa—kalkkiseoksessa pääsee karbonatisoituminen tapahtumaan myös seoksen sisällä. Mikäli tiivistys tapahtuu vasta 1—2 vrk kuluttua kalkin sekoituksesta, lisääntyy tiivistysenergian tarve huomattavasti samalla kun lopullinen lujuus jää tavallista alhaisemmaksi, koska kalkkia ei jää enää käytettäväksi pitkäaikaisiin reaktioihin.

Tiivistämiseen soveltuvat lähinnä sullovat tiivistysvälineet, sorkka- ja kumipyöräjyrät. Mikäli pohjaveden pinta on lähellä tiivistettävää kerrosta ja pohjamaa on häiriintymisherkkää maalajia, on vältettävä täryttämistä ja liiallista jyräystä. Usein maapohjan pehmeiden takia esitiivistys on suoritettava telaketjutraktorilla tai kumipyöräjyrällä, jonka rengaspaine on hyvin alhainen.

Pengertäytteen ja leikkauspohjan tiiviysasteen keskiarvon vähimmäisvaatimus on esitetty julkaisun Tvh 2.816 Laadunvalvontaohjeet, alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset luvussa 2.

1.23 Jälkihoito kalkkilujituksessa

Jälkihoidolliset toimenpiteet ovat tarpeen lähinnä vain lujitustapauksissa. Mikäli stabilointiajankohtana perusmaa on hyvin kuivaa, on lujitettu kerros pyrittävä pitämään ”maakosteana” kastelun avulla vähintään viikon ajan. Koska kalkilla lujitetun kerroksen kulumiskestävyys on pieni, on syytä peittää lujitettu kerros 10—15 cm paksuisella hiekkakerroksella, jolla voidaan vähentää myös kosteuden haihtumista. Em. väliaikainen hiekkakerros on tarpeeton mikäli rakennekerrokset rakennetaan välittömästi stabiloinnin päättymisen jälkeen.

1.3 VALVONTA KALKKILUJITUKSESSA

1.31 Yleistä

Valvontatoimenpiteet riippuvat suuresti kalkin käyttötarkoituksesta. Maalajin maarakennusteknisiä ominaisuuksia pa-

PÄIVÄKIRJA / KALKKI- JA SEMENTTISTABILOINTI

TYÖMAA:

Paalu Pvm Paksuus cm Ala m² Kaista

LABORATORIO:

Maan laatu, humusaste

Pohjamaan kantavuus

Sementtiä % Vettä % ltr/m²

Kalkkia % ” %

Kuivatilavuuspaino a) b) kiviaines + 7 % sem.

TYÖN SUORITUS:

SÄÄOLOSUHTEET:

Sideainetta

Säkeissä kg/m² kokonaismenekki

Irrallaan ” ”

Kastelu, ajankohdat

Sekoitus: Konetyyppi, ajokertojen määrä ja sekoitus-
syvyys

Jyräys: Konetyyppi ja ajokertojen lukumäärä

Tasoitus: Konetyyppi, työvaiheen ajankohdat

Jälkihoito ja pintakäsittely

MITTAUKSET: (Keskiarvot)

Ennen sekoitusta Ennen jyräystä Jyräyksen jälkeen

Vesipitoisuus

Paksuus

Sideainepitoisuus

Tiiviys

Puristuslujuus

TYÖAIKA:

HENKILOSTÖ:

Liitteet

Kuva 3

Allekirjoitus

rannettaessa tarkkaillaan lähinnä saavutettuja tuloksia, ovatko ne odotusten mukaisia.

1.32 Valvonta muokkauksen ja sekoituksen aikana

Esitöitten aikana on tarkkailtava rakeisuuden ja vesipitoisuuden ohella maa-aineksen hienontamista ja muokkaussyvyttä. Jos kiviaineksessa on runsaasti koheesioaineita mukana, on kiinnitettävä erikoista huomiota muokkauksen tehokkuuteen. Hienonnusta tarkkailtaessa on käytettävä tarvittaessa seulontakoneita, jolloin 80 % paakuista tulee läpäistä 16 mm verkkoseula.

Sideaineen levityksen tarkkailu on yksi tärkeimpiä valvonta-tehtäviä lujituksen aikana, sillä sideainekustannukset voivat olla yli 50 % varsinaisista stabilointikustannuksista. Ellei ole käytettävissä tarkasti annostelevia sideaineen levittämiä, voidaan sideaineen määrää ja levityksen tasaisuutta tarkkailla seuraavasti: Neliömetrin suuruinen muovikelmu, kangas tai laatikko asetetaan tielle ennen sideaineen levitystä. Levityksen jälkeen nostetaan kankaalle tullut sideainemäärä sivuun ja punnitaan. Sideainemäärä neliometriä kohti saadaan tällä tavalla suoraan. Sideainepitoisuusmäärittäksi tehdään vähintään yksi 400 m² kohti valmista lujitettua pintaa. Tulosten keskiarvon tulee olla $K_{suun} \pm 0,5$ prosenttiyksikköä ja yksittäisarvon $K_{suun} \pm 1,0$ prosenttiyksikköä.

Sekoitusvyödyden tulee olla 4—6 cm suurempi kuin tiivistetyn, lujitetun kerroksen paksuus. Massan tasalaatuisuutta arvostellaan silmämääräisesti koekuoppien avulla. Massan tulee olla tasaisen harmaata väriltään koko lujitettavassa kerroksessa.

Kosteuden tarkkailuun tulee kiinnittää erittäin suurta huomiota, koska liian kostea massa aiheuttaa hankaluuksia niin muotoilussa kuin tiivistyksessäkin. Vesipitoisuuden mittaaminen suoritetaan karbidometrillä, jonka antamia lukemia täytyy kuitenkin verrata aika ajoin kuivatusmenetelmällä saatuihin arvoihin. Mikäli maa-ainekseen on sekoitettu poltettua kalkkia, on karbidometrin asemesta käytettävä uunikuivatusta. Mittauksia täytyy suorittaa jatkuvasti muokkaus- ja sekoitusvaiheen aikana. Sekoitusta tulee jatkaa kunnes vesipitoisuus saadaan asettumaan $\pm 3\%$ tarkkuudella optimivesipitoi-

suusalueelle tiivistyksen alkuun mennessä. Sateen sattuessa tai maan ollessa muuten ylikosteata voidaan käyttää kohdassa 1.21 esitettyä työtapaa.

1.33 Tiiviys- ja lujustarkkailu

Tiivistarkkailu perustuu tiivistetyn maa—sideaineseoksen kuivatilavuuspainon määrittämiseen, jota verrataan samasta massasta tehdyn koekappaleen kuivatilavuuspainoon. Koekappaleiden teossa on huomattava, että massan sullomisen tulee tapahtua saman työvuoron kuluessa. Koekappaleen tekoa varten otettu massa tulee säilyttää niin, ettei kosteus pääse siitä haihtumaan. Sullonta suoritetaan parannettua proctorsullontaa käyttäen. Koekappaleet (2 rinnakkaiskoekappaletta) punnitaan märkinä ja määritetään vesipitoisuus massasta, josta koekappaleet on tehty. Näin saadaan proctorsullontaa käyttäen tiivistetyn massan kuivatilavuuspaino määritettyä. Koekappaleet säilytetään kohdassa 1.132 annettujen ohjeiden mukaisesti puristuslujuus- ja stabiilisuuskokeita varten. Tilavuuspainon määritys kentällä suoritetaan kuten julkaisussa Tvh 2.816 liite 2 on esitetty.

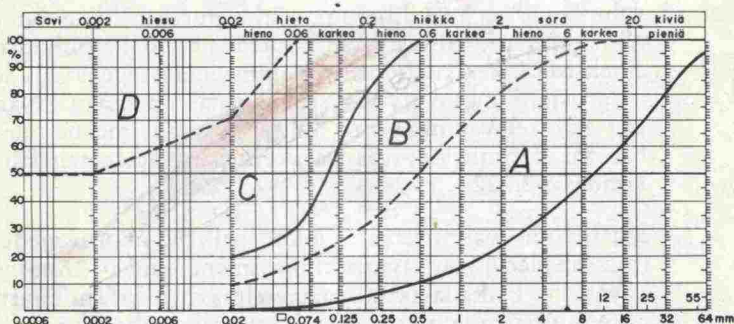
Tiivistyskokeita suoritetaan työtä aloitettaessa runsaammin kuin työn kestäessä, jotta todettaisiin tiivistystyön riittävyys mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Ensimmäisen työvuoron aikana tehdään 10 tiiviyskoetta, sen jälkeen 2 kpl jokaisesta alkavaa 2000 m²:n lujitettua pinta-alamäärää kohti. Pengertäytteen ja leikkauspohjan tiiviysasteen keskiarvovaatimukset on esitetty julkaisun Tvh 2.816 kohdassa 2. Riippuen tien luokasta tulee tarkkailupisteitä lisätä tarvittaessa. Lisätarkkailupisteet on pyrittävä sijoittamaan heikommilta vaikeuttaviin kohtiin sekä sellaisiin kohtiin, jossa pohjamaan kantavuus on heikko. Tiivistämistarkkailussa tulee käyttää lomaketta Tvh 2.140.

1.34 Valvonta kalkkilujituksen jälkeen

Alusrakenteen tasaisuuden, korkeustason ja sivukaltevuuden tulee täyttää alusrakenteelta vaadittavat normaalit vaatimukset. Aikaisintaan viikon kuluttua stabiloinnista tutkitaan rakenteen kantavuus levykuormituslaitteella tai Benkelmann-palkilla varsinkin sellaisilta kohdilta, jossa perusmaan kanta-

vuus on ollut alhainen. Alusrakenteen päältä mitattuna levykuormituskokeen kantavuusarvojen keskiarvon tulee olla vähintään 750 kg/cm². Yksittäisarvon tulee olla vähintään 600 kg/cm². Mikäli kantavuusarvot ovat alle vaatimusrajan, voidaan harkita alusrakenteen ylimmän osan sementtistabilointia tai massanvaihtoa tai päälle tulevien kerroksien (esim. jalka-) sementtistabilointia.

Kalkilla lujitetun kerroksen päällä voidaan liikennöidä niin pian kuin se murtumatta kestää ajoneuvon painon. Liikenne ei aiheuta sanottavasti vaurioita lujitettuun kerrokseen, sillä se on pitkään hyvin kimmoisin.



Kuva 4. Sementti- ja kalkkistabilointiin sopivien maalajien ohjealueet.

Maabetonin kiviainekseksi soveltuvat parhaiten alueella A olevat ainekset. Mikäli materiaali on alueella B tai risteää alueella A ja B, on se stabiloitavissa suuremmalla sementtimäärällä kuin mitä alue A vaatii. Tällöin on kuitenkin harkittava myös lisäkiviaineksen sekoitusmahdollisuuksia sementtiprosentin alentamiseksi. (Alue A vaatii n. 5—7 % ja alue B n. 7—10 % sementtiä kiviaineksen maksimikuiva-tilavuuspainosta laskettuna).

Kalkkistabilointiin sopivien maalajien rakeisuuskäyrät sijaitsevat alueilla C ja D. Lihavat savet (alue D) ovat kuitenkin vaikeasti käsiteltäviä, joten ne harvemmin tulevat kysymykseen. Maalajin työstettävyyttä voidaan parantaa jo 1—3 % kalkin lisäyksellä ja pohjamaan stabilointiin tarvitaan normaalisti n. 4—12 % rakennushienokalkkia (Ca(OH)₂ tai CaO). 1 osa CaO vastaa 1.32 osaa Ca(OH)₂.

2. SEMENTTISTABILOINTI

2.1 SUUNNITTELUOHJEET

2.11 Yleistä

Sementillä lujitettuja rakenteita on periaatteessa neljää eri tyyppiä: maabetoni, laiha maabetoni, laiha betoni ja sementtisepelys. Maabetoni on maa-aineksen ja sementin muodostama lujittunut massa, jossa sementtiä käytetään tavallisesti 4—10 % kiviaineksen maksimikuivatilavuuspainosta. Laiha maabetoni eroaa edellisestä siinä, että sementtiä käytetään vain 1—3 %. Laiha betoni, jonka puristuslujuus on yleensä yli 70 kp/cm², valmistetaan kiinteällä asemalla puhtaista kiviaineksista. Sementtisepelys valmistetaan sepelistä ja sementtilaastista, joka tärytetään sepelikerroksen sisään. Nämä ohjeet käsittelevät pääasiassa kuitenkin vain maabetonia. Laihan maabetonin käyttöä tierakenteissa selostetaan lähemmin kohdassa 2.122.

Maabetoni valmistetaan joko paikallasekoitusmenetelmää (mix-in-place) tai asemasekoitusmenetelmää (mix-in-plant) käyttäen. Paikallasekoitusmenetelmässä pyritään käyttämään rakennuspaikalla olevaa kiviainesta niin paljon kuin se taloudellisesti ja teknisesti on mahdollista. Vanhaa tietä rakennettaessa joudutaan tierungon kivisyyden takia usein stabiloitava kiviaines tuomaan joko osittain tai kokonaan muualta. Asemasekoitusmenetelmä, jossa maa-aineksen ja sementin sekoitus tapahtuu kiinteällä asemalla, sopii käytettäväksi suppeilla alueilla, jossa materiaalin kuljetukset ovat lyhyitä. Jälkimmäisen menetelmän käyttö on suositeltavaa tasalaatuisemman massansa takia.

Sementin käyttö tierakennusmateriaalien lujittamiseen on tarkoituksenmukaista silloin, kun rakennuspaikan läheisyydessä ei ole vaatimukset täyttävää materiaalia saatavissa. Sementtistabilointi on edullinen toimenpide silloin, kun riittävää kantavuutta ei pienillä tasauksen nostoilla saavuteta sitomattomia materiaaleja käytettäessä. Maabetoni sopii teiden, paikoitus-, piha- ja varastoalueiden sekä lentokenttien liikennealueiden kantavuuden lisäämiseen etenkin silloin, kun paikalla on valmiina stabiloitavaksi kelpavaa maata tai sitä on halvoin kustannuksin hankittavissa. Sementillä lujitetta-

vaksi sopivat humuksettomat tai vähän humusta sisältävät, laihaa savea karkeammat kivennäismaalajit.

Maabetonin lujuus perustuu siihen, että maa-aineksen sisältämä vesi muodostaa yhdessä sementin kanssa sementtiliiman, joka kovettuessaan sitoo maa-aineksen rakeet toisiinsa "pistemäisesti". Lujuus riippuu rakeitten välisten sidoksien lukumäärästä. Mitä tiiviimmäksi massa tiivistetään, sitä enemmän sidoksia syntyy kulloinkin käytössä olevan sementtiliimamäärän puitteissa. Maabetonin tyhjätila on noin kymmenkertainen normaaliin betoniin verrattuna eli noin 10—15 %. Tästä johtuu, että maabetonin rakenne on kimmoisan ja jäykän välillä.

2.12 Sementin käytön perusteet

2.121 Maa—sementtiseoksen raaka-aineet

Kiviaines

Sementtistabilointiin kelpaavat periaatteessa kaikki kivennäismaalajit (ks. maabetonin kiviaineksen ohjealue, kuva 4). Eloperäiset maalajit, turve, lieju, muta ja eloperäisistä aineksista muodostuneet humusmaat eivät kelpaa maabetonin raaka-aineeksi. Parhaita maalajeja ovat rakeisuudeltaan sora- ja hiekkamoreeneja vastaavat materiaalit, alue A. Kiviaines, jonka rakeisuuskäyrä sijoittuu tälle alueelle, vaatii normaalisti 5—7 % sementtipitoisuuden. Mitä suhteistuneempi kiviaines on, sitä pienemmällä sementtimäärällä vaadittava puristuslujuus yleensä saavutetaan.

Jos sementti-% nousee yli 7, niin kannattaa jo harkita kiviaineksen rakeisuuden parantamista. Se tulee kysymykseen tavallisesti silloin, kun materiaali on lajittunutta, tai siitä puuttuu jokin lajite esim. hienot tai karkeammat ainekset. Puuttuvat ainekset korvataan sopivalla materiaalilla. Saavutettavaan lujuuteen nähden murskattu kiviaines on edullisempaa kuin luonnon materiaali.

Maalajien sementin tarve on suoritettujen tutkimusten mukaan seuraava:

Maalaji	Sementtipitoisuus				
	p-%	kg/m ³	kg/m ² (h = 12 cm)	kg/m ² (h = 15 cm)	kg/m ² (h = 18 cm)
Sr, SrMr	4—7	80—120	10—14	12—18	14—22
Hk, HkMr	6—10	120—160	14—19	18—24	22—29
Tasar. Hk	8—12	150—200	18—24	23—30	27—36

Kiviaines sisältää tavallisesti vaihtelevia määriä hienojakoisia aineksia, joilla ei ole merkitystä maabetonin puristuslujuuteen, jos niiden määrä on niin pieni, että rakeisuuskäyrä pysyy kiviaineksen ohjealueella. Erillisinä rakeina sopivassa määrin karkeampaan kiviainekseen sekoittuneena hienot ainekset vain parantavat materiaalin rakeisuutta. Sensijaan humuksella, jota esiintyy aivan yleisesti sorateiden pintamateriaalissa sekä hiekkaisissa kangasmaissa, on yleensä sementin sitoutumista hidastava vaikutus. Voimakkaimmillaan esiintyessään se estää sementin sitoutumisen kokonaan. Tämänlaatuinen humus on kuitenkin verrattain harvinainen. Ks. myös kohta lisääineet.

Natronlipeäkoee ei osoita riittävän selvästi humuksen vaarallisuutta. Tämän vuoksi humuspitoiset ja varsinkin III- ja IV-humusluokkaa olevat maat on tutkittava puristuslujuuskokeiden avulla.

Sideaine

Sideaineena sementtistabiloinnissa käytetään yksinomaan normaalisti kovettuvaa portland-sementtiä. Sementtiä tarvitaan tavallisesti 4—10 % kiviaineksen kuivapainosta. Sementti ei saa olla kosteuden turmelemaa.

Vesi

Maabetonin valmistukseen käytettävän veden tulee yleensä täyttää juomavedelle asetettavat vaatimukset, mutta myös puhdas merivesi sopii sementtistabilointiin. Humuspitoisia vesiä tulee välttää, samoin teollisuuslaitosten läheisyydessä olevia jätevesiä.

Lisäaineet

Kiviaineksen sisältäessä runsaasti sementin kovettumista hidastavia aineksia (humusta), on niiden vaikutus estettävä tavalla tai toisella. Humushapot voidaan neutraloida raken-nushienokalkilla (sammutettu kalkki $\text{Ca}(\text{OH})_2$) tai hienoksi jauhetulla poltetulla kalkilla (sammuttamaton kalkki, CaO). Toisinaan humuksen vaikutus voidaan eliminoida korottamalla sementtipitoisuutta 1—2 %-yksiköllä, mikä tavallisesti on halvempi ratkaisu kuin kalkitseminen ylimääräisine työ-vaiheineen. Sementin sitoutumisreaktioita voidaan tarvit-taessa myös kiihdyttää kalsiumkloridin avulla, jolloin hu-muksen haitallinen vaikutus pienenee.

Kalkki, jonka määrä on tavallisesti 1—2 % kiviaineksen kui-vapainosta, tulee sekoittaa stabiloitavaan kiviainekseen 1—2 viikkoa ennen sementin levitystä.

Sementtistabiloinnin yhteydessä kalkin käyttö (kalkkipitoi-suus > 2 %) suuremman puristuslujuuden saavuttamiseksi ei ole perusteltua, sillä lopullinen lujuus sellaisessa maa—sement-tiseoksessa, jossa osa sementistä on korvattu kalkilla, jää al-haisemmaksi kuin pelkällä sementillä lujitetun maa-aineksen lujuus. Joissakin tapauksissa kalkki voi vaikuttaa sementin sitoutumiseen häiritsevästi.

Kalsiumkloridia (CaCl_2) voidaan käyttää nopeuttamaan se-mentin sitoutumista silloin, kun se on tarpeen työn kiireelli-syyden, humuksen, odotettavissa olevan pakkasen tms. syyn takia. Kalsiumkloridi, jota käytetään 0,3—0,8 % kiviainek-sen kuivapainosta laskettuna, lisätään kiviaineksen joukkoon joko kuivana tai mieluummin kasteluveteen liuotettuna 1 vrk ennen sementin lisäystä.

2.122 Sementillä sidotut kerrokset

Mikä tahansa päällysrakenteen kerroksista on korvattavissa sementillä sidotulla kerroksella. Sementillä lujitettu rakenne-kerros pystyy jakamaan pystysuoria kuormia taivutusveto-lujuutensa ansiosta suuremmalle alalle kuin sitomaton hiek-ka- tai sorakerros. Kuormia jakava vaikutus on sitä suurem-pi mitä paksumpi maabetonikerros on ja mitä syvemmällä rakenteessa se sijaitsee. Tämä johtuu osittain myös siitä, että kantavaa alustaa vasten sitomattomat kerrokset voidaan ti-

vistää hyvin, jolloin materiaalin sisäinen kitkakulma kasvaa, jonka johdosta kuorma jakautuu laajemmalle alueelle.

Routimisenousujen tasoittamisen kannalta on edullista sijoittaa lujitettu kerros mahdollisimman syvälle päällysrakenteen alaosaan. Joissakin tapauksissa on edullista stabiloida myös alusrakennetta. Tällöin maabetoni yhdessä päällä olevan maakerroksen kanssa jakaa jäälinssien aiheuttamat ylöspäin suuntautuvat jännitykset laajemmalle alueelle tien pinnassa. Mikäli routimisen aiheuttamat jännityserot eivät ole kovin suuria, säilyy päällyste ehjänä.

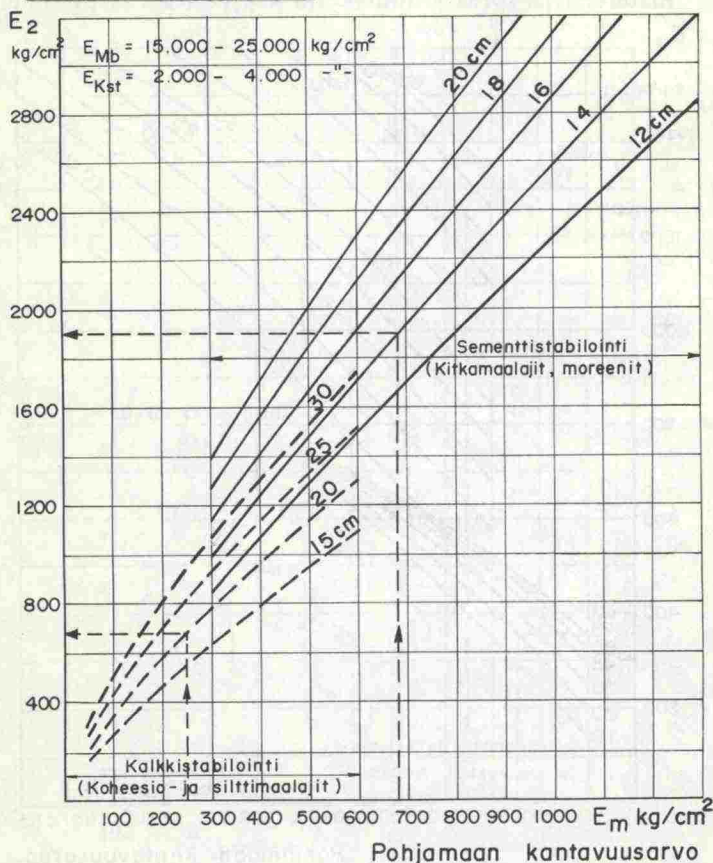
Pakkaskestävyyttä silmällä pitäen 7 vrk:n ikäisen maabetonin puristuslujuuden tulee olla vähintään 30 kg/cm². Lähellä tien pintaa sijaitsevan maabetonin puristuslujuuden tulee olla suurempi kuin syvemmällä rakenteessa sijaitsevan maabetonin lujuus, koska säätekijöistä johtuva rapautuminen on voimakkainta tien pintaosassa. Myös liikenteen aiheuttama rasitus on suurin tien pinnassa. Toisaalta lujuus ei kutistumishalkeilun takia saa olla liian suuri välittömästi päällysteen alla sijaitsevassa maabetonissa. Suositeltavat maabetonin puristuslujuuden keskiarvot käyvät ilmi alla olevasta taulukosta. Sekoituksen epähomogeenisuudesta ja tiiviysvaatimuksesta (95—97 %) johtuen lujuus kentällä jää noin 90 % suunnittelulujuuksista.

Maabetonin päällä olevien kerroksien yhteispaksuus	Maabetonin suositeltava puristuslujuus 7 vrk:n ikäisenä (suunnittelulujuus)
= päällyste	50—60 kg/cm ²
≧ 15 cm	40—50 ”
≧ 30 ”	30—40 ”

Lujitettavan kerroksen paksuus riippuu yleensä perusmaan tai maabetonin alla olevan rakenteen osan kantavuudesta. Maabetonin päällä olevien kerroksien paksuus määräytyy yleensä tietä kuormittamaan tulevien liikennemäärien ja pohjamaan routimisarkuuden perusteella. Routivalla pohjamaalla maabetonin paksuuden tulee yleensä olla vähintään 15 cm. Routimattomalla kangasmaalla maabetonin paksuus voi olla 10—15 cm liikennemäärästä riippuen. Sellaisissa olosuhteissa, missä routimisenousua ei tapahdu tai se on tasaista ja verrattain lievää, voidaan rakennekerroksen paksuutta ohentaa yleensä noin 30—60 % silloin, kun kerrosmateriaali sidotaan

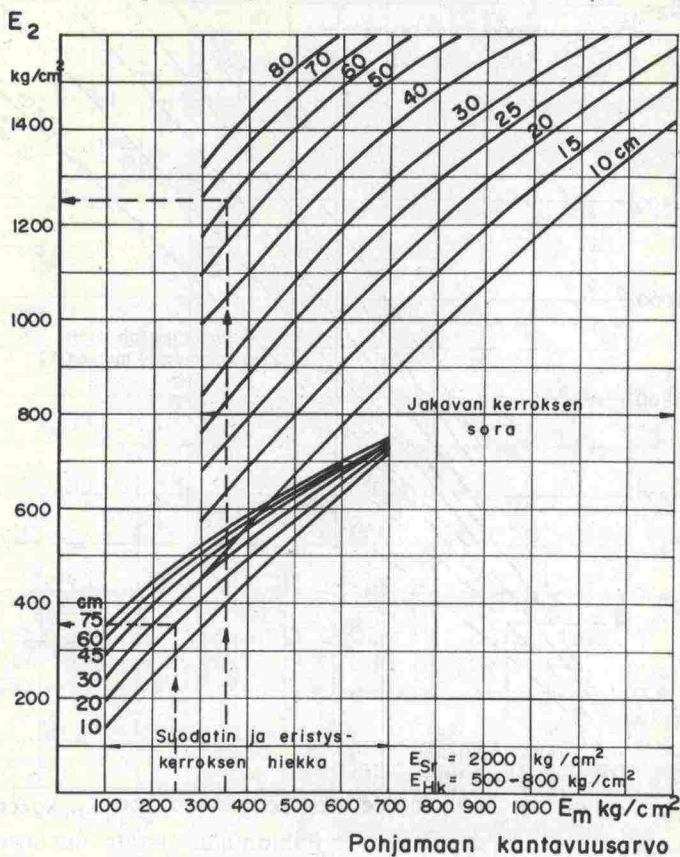
sementillä. Tällä hetkellä käytettävissä olevilla koneilla voidaan meidän oloissamme stabiloida kuitenkin vain 10–20 cm paksuisia kerroksia.

Jotta erilaisten rakenteiden taloudellisuutta voitaisiin edes jossain määrin verrata keskenään, tulee rakenteiden olla teknisesti saman arvoisia. Erilaisten päällysrakenteiden keski-



Esim. Pohjamaan kantavuusarvo $E_m = 250 \text{ kg/cm}^2$. 20 cm paksuinen kalkilla lujitettu kerros nostaa kantavuuden 680 kg/cm^2 . Kalkilla lujitetun pohjamaan päälle rakennettu 14 cm paksuinen maabetoni nostaa kantavuuden 1900 kg/cm^2 .

näisen vertailun tulee perustua myös rakennus- ja kunnossapitokustannuksiin, joten kantavuuden ohella on pyrittävä arvioimaan myös rakenteiden kestoikä. Maabetonin tarvittava kerrospaksuus määritetään maapohjan tai vahvistettavan rakenteen päältä mitatun kantavuusarvon (E_2) perusteella kuvassa 5 esitetyn nomogrammin avulla. Sitomattomia materiaaleja, soraa ja mursketta käytettäessä tarpeellinen ra-

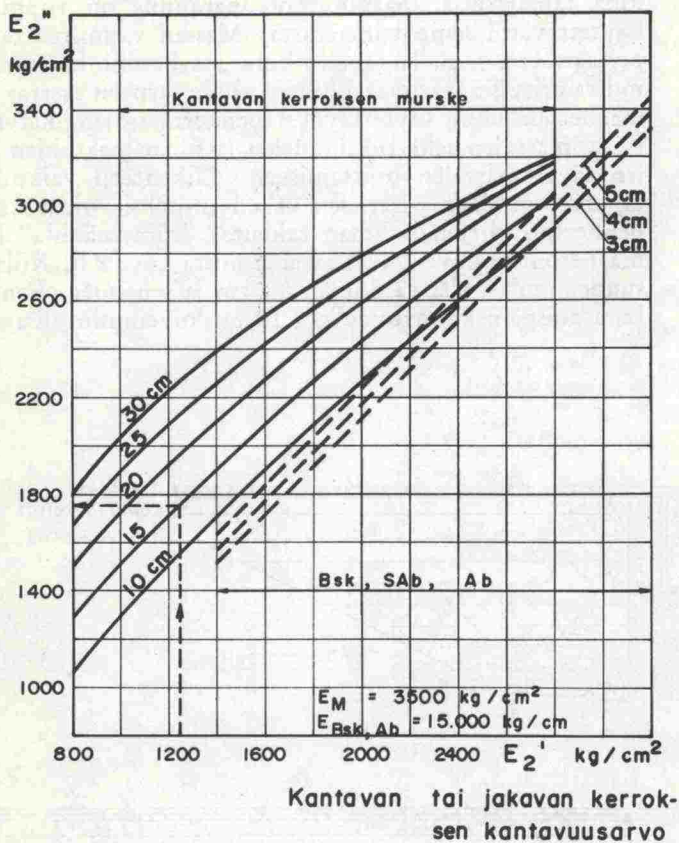


Pohjamaan kantavuusarvo

Esim. Pohjamaan kantavuusarvo $E_m = 250 \text{ kg/cm}^2$. 20 cm paksuinen eristyshiekkakerros nostaa kantavuuden 355 kg/cm^2 . Jakavan kerroksen soraa tarvitaan n. 60 cm, jotta vaadittu kantavuusarvo (1250 kg/cm^2) saavutettaisiin.

Kuva 6

kenteen vahvistustarve saadaan kuvien 6 ja 6 b nomogrammeista. Mikäli päällysrakenteen kokonaispaksuutta aiotaan ohentaa, tulee selvittää alusrakenteen roudanarkuus. Vanhan rakenteen osalta on samalla tavoin selvitettävä routavaurioiden laatu ennenkuin maabetonia käyttämällä voidaan korvata paksumpia päällysrakenteita.

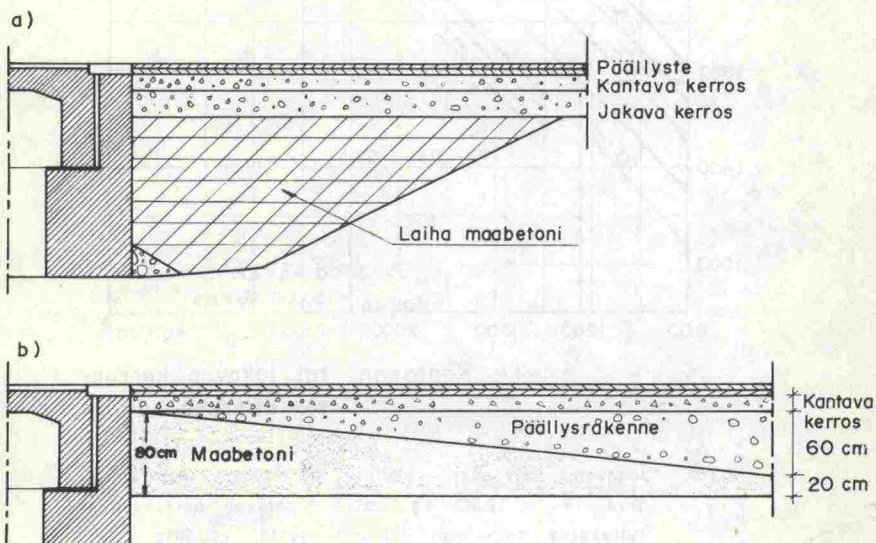


Esim. Jakavan kerroksen päältä on saatu kantavuusarvo $E_2' = 1250 \text{ kg/cm}^2$. Kantavan kerroksen mursketta tarvitaan 15 cm, jotta vaadittu kantavuusarvo (1750 kg/cm^2) saavutettaisiin.

Kuva 6b

Laiha maabetoni

Laihassa maabetonissa käytetään sementtiä vain sen verran (kuvan 4 ohjealueella A 2 % ja alueella B 4 % sementtiä kiviaineksen kuivapainosta), että maa pysyy koossa ja kestää veden aiheuttamaa eroosiota. Lujittumista tapahtuu vain osittain, mutta maan kantavuus ja leikkauslujuus kasvavat joka tapauksessa. Saavutettava parannus on riippuvainen käytettävästä sementtimäärästä. Massan valmistus tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin maabetoninkin valmistus, mutta erityisiä laatuvaatimuksia ei ole tarpeen asettaa. Laiha maabetoni sopii käytettäväksi pengermassojen, kaivantojen täyttömassojen sekä tukimuurien ja sillan maatukien taustojen täyttömassojen lujittamiseen. Liikenteen vaikutuksesta tapahtuvan jälkitiivistyksen vähentämiseksi voidaan sillan ja penkereen yhtymäkohtaan rakentaa "siirtymäkiila" laihasta maabetonista kuva 7 a tai maabetonista kuva 7 b. Kiilan paksuuden tulee olla vähintään 80 cm ja sen tulee ohentua sil-
lasta pois päin kaltevuudella 1:10 tai loivemmin. Kuva 7.



Kuva 7

2.123 Sementtistabilointiin liittyvät erityiskysymykset

Sementtistabilointiin liittyy määrättyjä seikkoja, jotka täytyy ottaa huomioon lujitustöitä suunniteltaessa. Rakennuspai-kalla tulee etukäteen selvittää maaperäolosuhteet: maaperän kantavuus, stabiloitavan materiaalin laatu, sen kivisyys ja humuspitoisuus sekä kuivatusolosuhteet. Näillä kaikilla on merkitystä stabilointimenetelmän kannalta. Kivisyys saattaa pakottaa luopumaan paikallasekoituksesta tai käyttämään muualta tuotavaa materiaalia. Mikäli kiviaineksen sisältämä humus joudutaan neutraloimaan kalkilla se lisää stabilointi-kustannuksia noin 10—30 %.

Stabilointi on pyrittävä tekemään lämpimänä aikana riittä-vän aikaisin ennen maan routaantumista, sillä viileänä aikana maabetonin lujittuminen on hyvin hidasta. Esimerkiksi, jos maa—sementtiseos saavuttaa vaadittavan puristuslujuuden 20°C lämpötilassa 7 vrk:ssa, niin 10°C lämpötilassa vastaa-van lujuuden saavuttaminen kestää kaksi kertaa pitemmän ajan. Jos lämpötila on 0°C, niin vaadittava sitoutumisaika on tällöin jo yli kuukauden. Stabilointiajankohta tulisi valita siis mieluummin alkukesästä niin pian kuin maan luonnolli-nen vesipitoisuus ja perusmaan kantavuus ($E_2 > 400 \text{ kg/cm}^2$) sen sallii. Mikäli stabilointi jää syksyyn, saattaa sitoutumis-reaktioiden kiihdyttäminen kalsiumkloridilla olla tarpeen.

Koska sekoitukseen tarkoitettu erikoiskalusto on rikkoutu-misaltis varsinkin, jos sekoitettava kiviaines on hyvin kivistä, tulee varautua mahdollisiin konerikkoihin etukäteen, sillä ne aiheuttavat koneille ja miehille kallista odotusaikaa. Myös sementin hukkaprosentti saattaa kasvaa viivytysten johdosta.

2.13 Ennakko tutkimukset

2.131 Näytteiden otto ja kantavuusmittaukset

Paikallasekoitusmenetelmä

Näytteiden otto suoritetaan kuten kalkkistabiloinnissa. Ks. luku 1.131. Maabetonin valmistukseen käytettävästä kiviäi-neksestä tutkitaan kivisyyden, rakeisuuden ja vesipitoisuuden ohella humuspitoisuus.

Kun materiaali kelpaa kivisyyden, rakeisuuden ja humuksen (humusaste < III) puolesta, tutkitaan proctor-kokeella maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus maa—sementtiseoksesta, jossa on 7 % sementtiä kiviaineksen kuivapainosta. Tämän jälkeen voidaan määrittää kuvan 8 esittämän nomogrammin avulla stabiloinnissa käytettävä sementtipitoisuus. Mikäli jotkut näytteet sisältävät humusta, jonka väriarvo on III tai suurempi, on näytteelle suoritettava myös puristuslujuuskoe humuksen haitallisuuden selvittämiseksi. Näitä tarkempia kokeita varten otetaan näytteitä sellainen määrä, että ne tuovat riittävän tarkasti esiin maa-aineksien vaihtelut koko stabiloitavalla alueella.

Asemasekoitusmenetelmä

Mikäli stabiloitava kiviaines tuodaan muualta, on kiviaineksen osalta selvitettävä periaatteessa samat seikat kuin edellä paikallasekoitusmenetelmässä. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää kiviaineksen stabiloimiseen tarvittava sementtiprosentti, jonka perusteella kiviaineksen käyttömahdollisuutta voidaan arvostella. Materiaalitutkimus on pyrittävä tekemään tarkemmin kuin normaali tienpitoainestutkimus, koska stabilointiin käytettävä sementtimäärä kuljetuksineen edustaa tavallisesti yli 50 % stabilointikustannuksista. Kiviainesesiintymän pintaa syvemmällä olevat kerrostumat on selvitettävä maaputki- tai autokairausta apuna käyttäen, jotta kiviaineksen rakeisuuden ja kivisyyden vaihtelut saadaan selville. Stabiloitavan materiaalin ottopaikan valinnassa tulee kiinnittää erityistä huomiota kuljetusmatkojen pituuteen, mikä on merkittävä kustannuksiin vaikuttava tekijä. Materiaalin laatua arvosteltaessa voidaan käyttää apuna kuvassa 4 esitettyä piirrosta. Liian tasarakeisen kiviaineksen laatua voidaan parantaa oleellisesti lisäämällä sopivaa murskettua luonnon kiviaineksen joukkoon.

Kantavuusmittaukset

Kantavuusmittaukset suoritetaan luvussa 1.131 esitetyllä tavalla. Benkelman-kokeen suoritusohje on julkaisussa Tvh 2.660, osa I, luku 4.54.

2.132 Laboratoriokokeet

Koska käytännössä tavallisesti rajoitutaan stabiloimaan sementillä vain sellaisia kitkamaita, joilla hienojen aineksien ($< 0,074$ mm □) määrä on < 35 %, niin kiviaineksen soveltuvuustutkimuksessa voidaan käyttää ns. lyhennettyä menetelmää, jolloin tarvitsee suorittaa vain seuraavat laboratoriokokeet:

- 1 Rakeisuuden määrittäminen
- 2 Humuskoe
- 3 Proctorkoe — optimivesipitoisuus
- 4 Sementtipitoisuuden määrittäminen
- 5 Puristuslujuuskoe

Kentältä tuodusta näytteestä erotetaan maalajista riippuen n. 1—3 kg rakeisuuden määrittämistä varten. Muusta osasta näytettä seulotaan yli 16 mm rakeet pois. Seulottua, mutta muuten käsittelemätöntä kiviainesta tulee olla humuskoetta varten rakeisuudesta riippuen 0,5—2 kg. Proctorkokeeseen tarvitaan 9—18 kg riippuen siitä sullotaanko samaa kiviainesta 2 kertaa vai kerran. Puristuslujuuskoetta varten tarvitaan lisäksi n. 15 kg em. kiviainesta. Seulottua kiviainesta tarvitaan siis n. 25—35 kg.

1 Rakeisuuden määrittäminen

Rakeisuus määritetään julkaisussa Tvh 2.660 II osa, luvussa 1.212 esitetyllä tavalla.

2 Humuskoe

Kitkamaalajien sisältämä humus tutkitaan natriumhydroksiidikokeella julkaisun Tvh 2.660 osa II, luvun 1.232 mukaisesti. Yleensä humusta sisältävä kiviaines, jonka humusluokka on 0—II, sopii stabiloitavaksi ilman humuksen neutralointia. III ja IV luokkien ollessa kyseessä humuksen todellinen vaikutus sementin sitoutumiseen on tutkittava puristuslujuuskokeiden avulla. Ks. myös luku 2.121 lisäaineet.

3 Proctorkoe — optimivesipitoisuus

Jokaisesta näyte-erästä määritetään parannetun proctor-

kokeen avulla se vesipitoisuus, jossa maa—sementtiseos tiivistyy parhaiten, ts. saavuttaa maksimikuivatilavuuspainon. Proctorkoetta tehtäessä käytetään kiviaineksen joukossa 7 % sementtiä laskettuna kiviaineksen kuivapainosta. Jos tiivistämistymäärä muutetaan, siitä aiheutuu muutos myös maksimitilavuuspainon sekä optimivesipitoisuuden arvoihin.

Koetta varten varattuun 16 mm □ seulan läpäisseeseen kiviin kiviainekseen, jota tulee olla 9—18 kg, lisätään siis 7 % sementtiä kiviainesnäytteen painosta eli 0,630—1,260 kg. Maa—sementtiseos jaetaan n. 3 kg eriin kokeen suorittamista varten. Nämä erät kostutetaan siten, että arvioitu optimi on pienimmän ja suurimman vesipitoisuuden välissä. Jos määrittäminen halutaan tehdä mahdollisimman tarkasti, erät on kuivattava ja halutut vesimäärät lisättävä kuivattuun ainekseen. Oheisessa taulukossa esitetään eri maalajien optimivesipitoisuuden vaihtelualueet ilman sementtiä.

Maalaji	Optimivesipitoisuus %	Maksimikuivatilavuuspaino kg/dm ³ ilman sementtiä
Sora ja soramoreeni	5...10	2,0...2,2
Hiekka-, hietta- ja hiesumoreeni	5...10	2,0...2,3
Hiekka ja karkea hietta	5...15	1,7...2,2

Sementin lisäys nostaa optimivesipitoisuutta yleensä alle 1 %:n.

4. Sementtipitoisuuden määrittäminen

Stabilointitöiden kannattavuuden selvittämiseksi likimääräisissä ennakkolaskelmissa voidaan käyttää kuvassa 8 esitetystä nomogrammista saatavaa sementtipitoisuusprosenttia. Nomogrammissa sementtipitoisuus määräytyy 0,074 mm □ pienempien ja 4 mm □ suurempien rakeiden määrän sekä maa—sementtiseoksen maksimikuivatilavuuspainon perusteella. Nomogrammissa ei ole otettu huomioon 16 mm suurempien kiviin kuivatilavuuspainoa suurentavaa vaikutusta, joten se on otettava huomioon korjaamalla kuivatilavuuspainoa kuvan oikeassa alakulmassa esitetyn taulukon ohjeiden mukaisesti. Nomogrammista saatua sementtiprosenttia voidaan käyttää sellaisenaan myös stabilointityössä, mikäli stabi-

loitavan materiaalin humusaste on $< III$ ja suunniteltu puristuslujuus $30-40 \text{ kg/cm}^2$ 7 vrk:n ikäisenä. Käytettäessä puhkaita kiviaineksia maabetonin valmistukseen antaa nomogrammi noin 1 % liian suuria sementtipitoisuusarvoja. Maabetonin puristuslujuus voi vaihdella humuksesta, rakeisuudesta, rakeiden muodosta, sekoituksen puutteellisuudesta ja tiivistyksestä ym. seikoista johtuen varsin paljon. Näin ollen nomogrammista saatava sementtiprosentti on tarvittaessa humuksen vaikutuksen selvittämiseksi vielä tarkistettava riittävän monien puristuslujuuskokeiden avulla.

5 Puristuslujuuskokeet

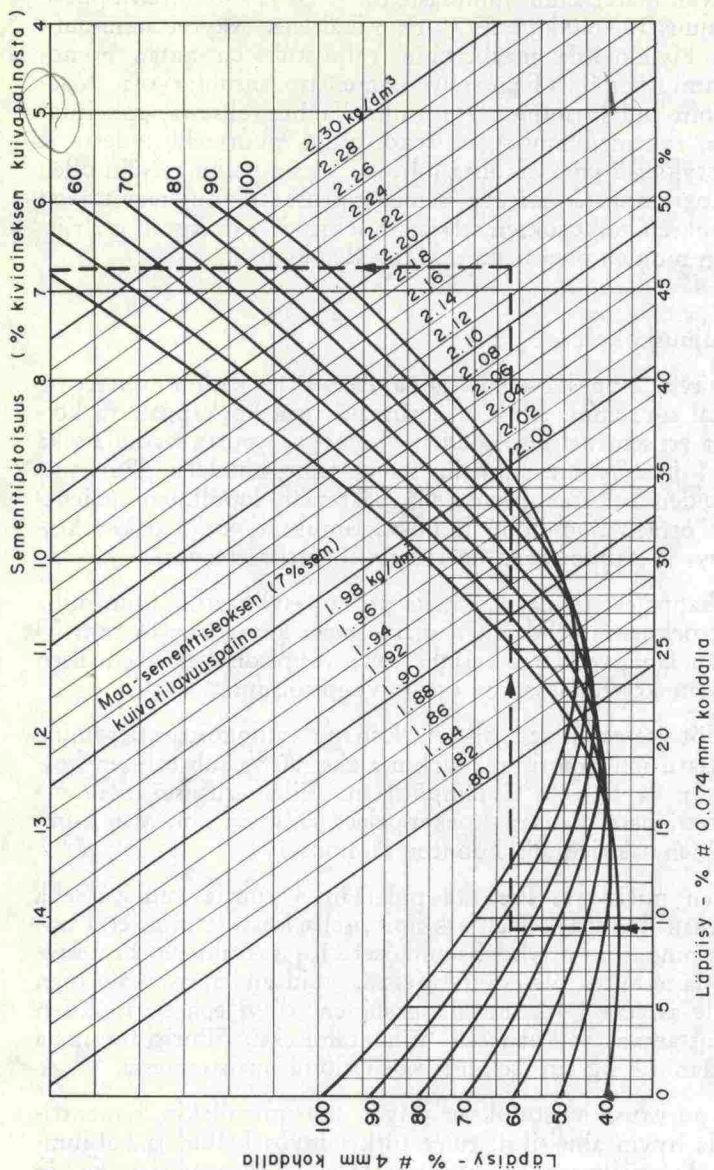
Riittävän monesta sellaisesta näytteestä, jonka humusneste on III tai suurempi, tehdään 2 rinnakkaista koekappaletta kolmella eri sementtipitoisuudella, nomogrammista saadulla sekä sitä 1 ja 2 % suuremmalla sementtipitoisuudella. Puristuskokeiden tulosten perusteella päätetään lopullinen sementti-% ottaen huomioon lujuusvaatimukset, jotka pakkaskestävyys ja stabiloitavan kerroksen sijainti asettavat.

Koekappaleet tehdään samalla proctor-sylinterillä kuin millä proctorkoekein tehdään. Kiviaineksena käytetään 16 mm □ seulan läpäissyttä materiaalia sekä vesipitoisuutena edellisen kohdan kokeessa saatua optimivesipitoisuutta.

Lieriöt asetetaan sen jälkeen, kun ne vahingoittumattomina on saatu irti muotista, 7 vrk:n ajaksi 90 % suhteellisen kosteuteen ja $19-21^\circ\text{C}$ lämpötilaan. Ellei erityistä tilaa ole käytettävissä voidaan koekappaleet säilyttää em. ajan esim. märkien säkkien alla huoneen lämmössä.

Ennen puristusta lieriöitä pidetään 4 tuntia vedessä sekä tasataan lieriöitten päät rikkipitoisella laastilla niin, että puristuspinnat ovat yhdensuuntaiset. Jos tasaukseen käytettävää laitetta ei ole käytettävissä, voidaan puristuspintojen päälle asettaa 1—2 mm:n paksuinen pahvi epätasaisuuksien aiheuttaman vaikutuksen vähentämiseksi. Puristusvoimaa lisätään $1,4 \text{ kg/cm}^2/\text{sekunti}$ koelieriöitä puristettaessa.

Jos puristuslujuustulokset jäävät suurimmallakin sementti-%:lla hyvin alhaisiksi, tulee tutkia myös kalkin ja kalsiumkloridin vaikutus puristuslujuuteen. Rakennushienokalkin vaikutusajan tulee olla vähintään 7 vrk ja kalsiumkloridi tu-



Kivisyyden likimääräinen vaikutus γ_d max:iin	
Kivisyys - %	γ_d max +
10 - 20	+ 0.05
20 - 30	+ 0.10

Maabetoni

Seementtipitoisuuden määrittäminen

Kuva 8

TVH/M - tsto 25.5. - 71

lisi sekoittaa kiviainekseen n. 1 vrk aikaisemmin kuin sementti. Ks. myös luku 2.121 kohta lisäaineet.

Tuloksien ilmoittaminen

Työn suorittamista varten annetaan työmaalle seuraavat tiedot:

- 1 sementti-%/puristuslujuus 7 vrk
- 2 optimivesipitoisuus
- 3 maksimikuivatilavuuspaino
- 4 humusaste/hienoaines-% (mahdollisesti)
- 5 kivisyys-% (> 64 mm □ kivet)
- 6 mahdollisten lisämaalajien laatu ja määrä
- 7 lisäaineiden määrä ja käyttötapa
- 8 maabetonin vaadittu paksuus (tiivistettynä) sekä muut mahdolliset tiedot

2.2 TYÖN SUORITUS

2.21 Yleistä

Työn suoritusohjeet koskevat lähinnä paikallasekoitusmenetelmää, koska siinä eri työvaiheet vaativat huolellisempaa työtä ja tarkempaa valvontaa kuin asemasekoitusmenetelmässä vastaavat vaiheet. Paikallasekoitusmenetelmän heikkoutena on epätasainen massan laatu ja vaihteleva kerrospaksuus.

Paikallasekoitusmenetelmässä tarvittavat koneet

1. Esityöt

Tarvittava lisämateriaalien ajo	kuorma-auto ja kauha-kuormaaja
Kastelu (tarvittaessa)	kasteluauto, vesipumppu
Repiminen	esim. tiehöylä tai pusku-traktori
Kalkitus (tarvittaessa)	kalkin, hiekan tai suolan levitin
Muokkaus ja pinnan muotoilu	tiehöylä, pusku-traktori tai sekoituskone
Tiivistys	valssijyrä (täry), kumipyöräjyrä, sorkkajyrä, tiehöylä

2. Varsinainen lujittaminen

Veden lisäys (tarvittaessa veden haihdutus sekoittamalla)	kasteluauto
Sementin levitys	erikoissementinlevitin, hie- kanlevitin tai suolan levitin
Sekoitus ja hienontaminen	stabilointijyrsin, maatalous- jyrsin, maatalouskultivaatto- ri ja äes
Ajoradan pinnan muotoilu	tiehöylä
Tiivistys	kumipyöräjyrä ja sileävalssi- jyrä, jossa on täry
(2—4 ylityskertaa)	tiehöylä
Pinnan tasoitus	kumipyöräjyrä, valssijyrä
Lopputiivistys	
(6—8 ylityskertaa)	

2.22 Esityöt

Alusrakenne tai stabiloitavan kerroksen alapuolella oleva rakenteen osa tehdään työselityksen mukaisesti mahdollisimman tasalaatuisiksi niin kantavuudeltaan kuin routimisominaisuuksiltaan. Vanhojen teiden rakenteen parantamisen ollessa kysymyksessä on kiinnitettävä huomiota myös kuivatuksella aikaansaatavaan kantavuuden parantamismahdollisuuteen. Kuivatusta on pyrittävä tehostamaan jo stabilointia edeltävänä kesänä. Ellei heikosti kantavia kohtia ($E_2 < 400 \text{ kg/cm}^2$) saada paranemaan pelkällä kuivatuksella on ne lujitettava kalkilla tai sementillä ennen varsinaista sementtistabilointia tai tuotava pehmeiden maiden tilalle riittävän paksu kerros kantavaa materiaalia. Ns. routapuhkeamissa massanvaihto on välttämätön toimenpide.

Käytettäessä jo paikalla olevaa tien yläosan materiaalia stabiloitavaan kerrokseen, tulee tienpinta-aines möyhentää löyhään tilaan ennen sementin levitystä. Tien pinnan repiminen ja muokkaus helpottuvat huomattavasti, jos tietä kastellaan runsaasti ennen repimistä. Muokkauksen aikana poistetaan stabiloitavan materiaalin joukosta ylisuuret kivet ($> 64 \text{ mm}$ □).

Mikäli aiotaan stabiloida vanhan päällysteen alla olevaa materiaalia, tulee vanha päällysteaines poistaa stabiloitavan kivi-

aineksen joukosta, sillä vähäinenkin bitumi- tai tieöljymäärä heikentää maabetonin lujuutta.

Ks. myös kalkkistabilointiohjeiden vastaavaa lukua 1.21.

2.23 Varsinainen lujittaminen

2.231 Sementin levitys

Erikoissekoittimia käytettäessä työosuuden pituus on sovitettava sellaiseksi, että massa saadaan tiivistettyä vaadittuun tiiviyteen mahdollisimman pienellä tiivistystyöllä kahden tunnin kuluessa sementin levityksestä. Tavallisesti työosuuden pituus on noin 100 m. Pitempiin jaksoihin ei voida mennä, sillä kosteuden haihtuminen massasta voi olla aurinkoisina ja tuulisina päivinä noin yhden prosenttiyksikön verran tunnissa. Toinen työosuuksien pituutta rajoittava seikka on se, että käytettävä tavallinen portland-sementti alkaa sitoutua jo noin tunnin kuluttua sementin levityksestä, jolloin massan tiivistyminen alkaa vaikeutua.

Työosuudella käytettävä sementtimäärä (kg/m^2) saadaan suoraan kerrospaksuuden, käytettävän sementtiprosentin ja maa—sementtiseoksen maksimikuivatilavuuspainon perusteella kuvan 9 esittämästä nomogrammista, joka perustuu yhtälöön

$$S_a = h \cdot s \cdot \gamma_d$$

$$S_a = \text{sementtiä (kg/m}^2\text{)}$$

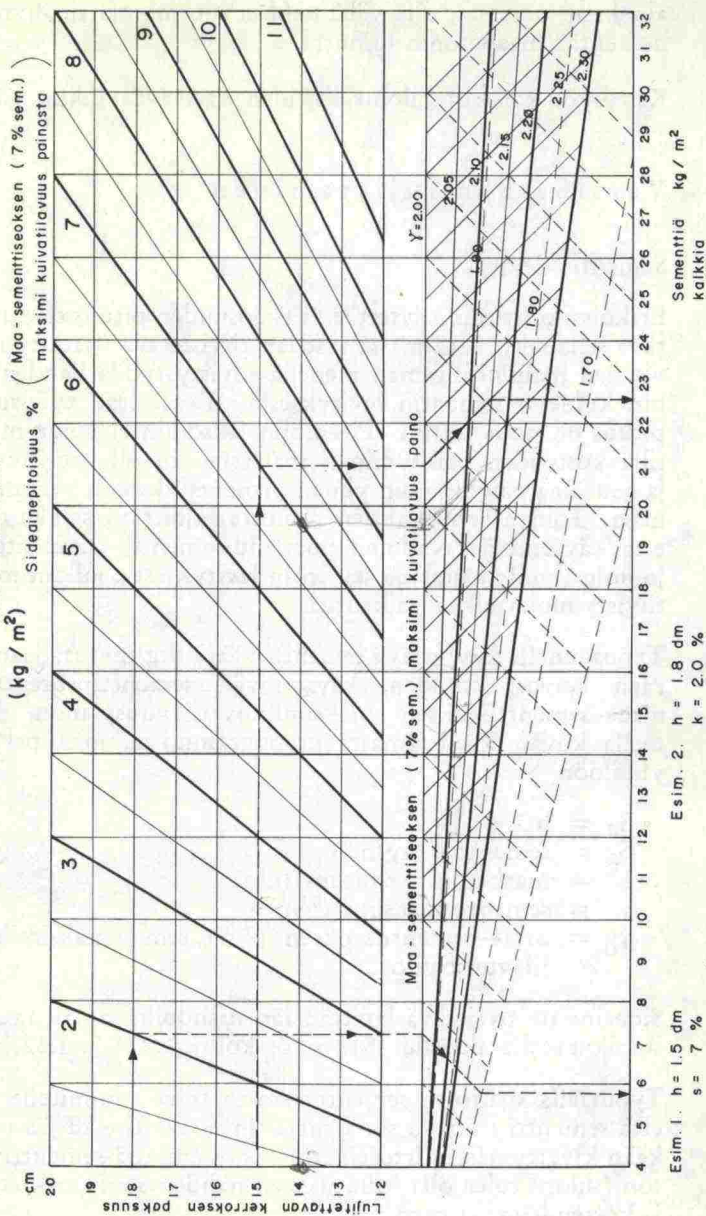
$$h = \text{maabetonin paksuus (dm)}$$

$$s = \text{sementtipitoisuus (\%)}%$$

$$\gamma_d = \text{maa—sementtiseoksen (7 \% sem.) maksimikuivatilavuuspaino}$$

Sideaine on pyrittävä levittämään mahdollisimman tasaisesti stabiloitavalle alueelle. Ks. myös kohta 1.221 ja 1.32.

Työmaalla sijaitseva sementtivarasto tulee suunnitella siten, että sementti vaihtuu siinä riittävän nopeasti eikä jää mihinkään kivettymään. Irtosementtiä käytettäessä sementtivaraston (siilon) tulee olla kulutukseen nähden sopivan kokoinen ja kosteudelta suojattu.



Kuva 9

TVH / M-TSTO

2.232 Maan ja sementin sekoitus

Sekoituksessa pyritään hienontamaan kokkareet ja sekoittamaan maa ja sementti tasaisen harmaaksi massaksi. Jotta sementin sekoittuminen kiviainekseen onnistuisi, tulee maapohjan olla tien reunaosilla vähintään yhtä kantavaa kuin keskellä. Tien pehmeä reuna ja luonnollinen pinnan kaltevuus aiheuttavat sen, että sekoittimella on taipumus painua syvempään tien reunaosassa, mikä ei ole suotavaa. Tien reunat on tiivistettävä tarvittaessa valssijyrällä ja mieluummin täryä käyttäen ennen stabiloitavan pinnan möyhennystä ja sementin levitystä.

Paikallasekoitusmenetelmässä käytetään yleensä erikoissekoittimia, jolloin tulee ajaa noin 3—5 kertaa kukin työosuus, kun on kysymyksessä hiekkaiset maat. Sekoituskerroja tarvitaan kuitenkin enemmän, jos hienojen aineksien määrä on suuri. Ellei sekoitin pysty sekoittamaan riittävän syvältä, niin jo sekoitettu, runsaasti sementtiä sisältävä seos ja sen alla oleva sekoittamaton maa (sekoitusvyödyteltä) kasataan tiehöylällä pitkittäiseksi karheeksi sekä levitetään takaisin, ennenkuin koneella sekoitus suoritetaan uudelleen. Sekoituksen aikana tarkkaillaan maa—sementtiseoksen vesipitoisuutta riittävän usein, jotta tiivistyksen aikana massassa vallitsisi optimivesipitoisuus. Tarvittaessa lisätään vettä ja sekoitetaan se massa. Kastelu onnistuu paremmin, jos vesisäiliöön voidaan liittää molemmille sivuille kääntyvä putki, jonka alapinta on niin rei'itetty, että vesi suihkuu hienojakoisena ja tasaisena ulos.

seoksen

2.233 Maa—sementtiseoksen tiivistäminen

Maabetonimassan tiivistys eroaa tavallisen kiviaineksen tiivistämisestä siinä, että sementin sitoutumisen vuoksi tiivistäminen tulee aloittaa viivytyksettä sen jälkeen, kun pinta on tasoitettu oikeaan poikkileikkausmuotoon. Kunkin työosuuden tiivistäminen tulee olla loppuunsaoritettu n. 2 tunnin kuluessa sementin levityksestä. Tiivistyksen aikana tulee pyrkiä optimivesipitoisuuteen n. ± 1 %-yksikön tarkkuudella. Sateen, tuulen ja auringon vaikutus kosteuden haihtumiseen on otettava huomioon.

Tiivistämiseen soveltuvat tärytiivistyslaitteet, kumipyörä- ja sileävalssijyrät. Kun maabetonin pinta 1—2 tiivistysajo-

kerran jälkeen alkaa kantaa, voidaan käyttää tärytiivistyslaitteita, joilla tiivistysvaikutus ulottuu syvemmälle kuin staattisilla jyrillä. Myös raskas kumipyöräjäyrä, jossa tällöin on käytettävä alhaisinta mahdollista rengaspainetta, antaa edullisen vaivaavan vaikutuksen. Tällöin saadaan tiivistetyksi myös maa—sementtiseoksen alla olevaa kerrosta.

Tiivistäminen on syytä aloittaa poikkileikkauksen alimmasta kohdasta, jottei massa tiivistyksen aikana siirtyisi sivulle. Mikäli 2—4 ajokerran jälkeen tien pintaan syntyy epätasaisuuksia, pinta revitään vielä auki kevyesti tiehöylällä 3—4 cm syvyydeltä ja tasoitetaan raiteet ym. epätasaisuudet. Tässä vaiheessa voidaan suorittaa pieni vedenlisäys, jos veden haihtuminen massasta on kovin voimakasta.

Lopputiivistykseen sopii kumipyöräjäyrän lisäksi sileävalssijyrä, jossa on myös pieni täryvaikutus. Jyrän paino sekä täryn voimakkuus on sovitettava stabiloitavan kerroksen paksuuden ja sen alla olevan maan ominaisuuksien mukaan. On varottava häiritsemästä syvemmällä mahdollisesti olevia häiriintymisherkkiä kerroksia. Tiivistyksessä viimeiset ajokerrat suoritetaan kumipyöräjäyrällä suurta rengaspainetta käyttäen tai sileävalssijyrällä ilman täryä.

Rakenteen alemmissa kerroksissa maabetonin tiiviynen tulee olla keskimäärin 95 % parannetusta proctortiiviyydestä. Jakavaa tai kantavaa kerrosta vastaavan maabetonikerroksen keskimääräinen tiiviysvaatimus on 97 %. Yksittäisarvon tulee olla vastaavasti vähintään 90 ja 92 % parannetusta proctortiiviyydestä.

2.234 Työsaumat

Maabetoniin ei tehdä liikuntasauvoja, mutta työsaumojia joudutaan tekemään sekä poikki- että pituussuunnassa. Poikkisuuntaiset saumat tehdään siten, että riittävän pitkälti revitään edellisen työvuoron tekemää maabetonia auki, poistetaan suuret kokkareet massasta ja sekoitetaan siihen uudelleen tarvittava määrä sementtiä. Sauma tulisi tiivistää täryä käyttäen. Vanhoilla teillä joudutaan tavallisesti stabiloimaan kaista kerrallaan liikenteen hoitamisen vuoksi. Aikaisemmin lujitettu kaista aiheuttaa ylimääräisiä työvaiheita toista kaistaa käsiteltäessä. Stabiloitaessa paikallista maainesta sauman teko tapahtuu seuraavasti:

Kun stabiloitava materiaali on hienonnettu ja sekoitusta häiritsevät kivet poistettu, niin tiehöylän terän kulmalla leikataan saumakohta auki niin pitkältä jo kovettuneen maabetonin puolelta, että maabetonin paksuus on vaaditun suuruinen. Em. leikkauksella siirretään maa-aines noin 15—20 cm sivuun saumasta, missä se voidaan käsitellä lujittuneen maabetonin häiritsemättä sekoitusta. Tiehöylän kasaama karhe tasoitetaan ja sekoitusta haittaavat paakut poistetaan kiviaineksen joukosta. Tasoitetulle karheelle levitetään sementti. Sekoituksen aikana lisätään tarvittaessa vettä. Kun massa on tasaisen harmaata, se siirretään takaisin saumaan.

Vaikeutena tässä on saada saumaan juuri sopivan paljon massaa, niin että se tiivistettäessä painuu sauman tasoon jo valmiin pinnan kanssa. Tienpinnan muotoilemiseen käytettävän tiehöylän kuljettajan taidosta ja huolellisuudesta riip-

puu sauman ja koko tienpinnan tasaisuus. Tällaisten saumojen tekoa on pyrittävä välttämään stabiloimalla viereinen kaista ennenkuin aikaisemmin käsitelty kaista on ennättänyt lujittua.

Maabetoniin ei tehdä kutistumissaumoja. Jos maabetonista on tullut liian sementtirikasta, niin se käyttäytyy kuin betoni, ts. se kutistuu lujittuessaan niin paljon, että siihen syntyy poikkihalkeamia parin vuoden kuluttua. Halkeamat syntyvät tien poikkisuunnassa 5—20 m välein. Mikäli maabetoni on välittömästi päällysteen alla nämä halkeamat ulottuvat päällysteen pintaan saakka ja ne joudutaan juottamaan umpeen jollakin sopivalla aineella esim. bitumilla tai bitumiliuksella.

Poikkihalkeamien kokoa voidaan pienentää tai jopa poistaa ne kokonaan jyräämällä raskaalla jyrällä maabetonin pintaa n. viikon kuluttua stabiloinnista. Tarkoituksena on saada syntymään hiushalkeamaverkko, jonka halkeamat eivät heijastuisi enää päällysteen pintaan saakka, vaan myöhempi maabetonin kutistuminen tapahtuisi näiden hiushalkeamien välityksellä.

2.24 Maabetonin jälkihoito

Jälkihoidolla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joita maabetonille suoritetaan stabiloinnin tapahduttua. Tärkein toi-

menpide on maabetonin pitäminen kosteana n. viikon ajan. Tänä aikana täytyy myös rajoittaa liikkumista maabetonin päällä. Ks. myös kohta 2.123.

Sementin hydratoitumisreaktiot tapahtuvat pitkän ajan kuluessa. Ensimmäisen viikon aikana maabetoni saavuttaa kuitenkin jo 70—75 % 28 vrk:n puristuslujuudesta, jota voidaan pitää lähes lopullisena lujuutena. Jotta vettä olisi käytettävissä näiden reaktioiden tapahtumiseen, tulee kosteuden säilymistä maabetonissa ylläpitää kastelun, muovikelmujen ja bitumiemulsion tai -liuoksen avulla. Käytettäessä bitumiemulsiota sitä ruiskutetaan noin 0,8—1,0 kg/m². Bitumin päälle sirotellaan 0—12 mm □ murske, jotta liikkuminen olisi mahdollista maabetonin päällä. Liikenne tulee rajoittaa mahdollisimman vähiin ensimmäisen viikon aikana.

Aikaisintaan viikon kuluttua stabiloinnista voidaan aloittaa päällystäminen, sillä vasta tällöin maabetoni kestää päällystyskoneiden ja kuorma-autojen painon edellyttäen, että maapohja on kantava. Ennen päällystämistä maabetonin pinta on harjattava puhtaaksi irrallisista aineksista, sillä päällysteen ja maabetonin väliin jäävät hienojakoiset ainekset löyhetyvät veden vaikutuksesta. Myöskin päällysteen kiinnittyminen alustaan heikkenee ja tästä voi olla seurauksena jopa päällysteen nopea rikkoutuminen.

2.25 Asemasekoitusmenetelmä

Mitä edellä on sanottu esitöiden yhteydessä (kohta 2.22) koskee myös asemasekoitusmenetelmää.

Kiinteää sekoitusasemaa käytettäessä sekoitin tulisi sijoittaa siten, että massan valmistukseen käytettävien materiaalien ja valmiin massan kuljetuskusannusten summa on mahdollisimman alhainen. Kiviaineksen annosteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä siitä riippuu koko stabilointityön nopeus. Mikäli mahdollista sekoittimen tulisi olla pakko-sekoittaja, joka toimii joko annos- tai jatkuvasekoitusperiaatteella. Työn laajuudesta riippuen sekoittimia voi olla useampiakin.

Ennen työn aloittamista on tarkistettava sekoittimen siivekkeet sekä sekoitusaseman mittarit ja laitteet ja varmistauduttava siitä, että ne työtä aloitettaessa ovat käyttökelpoi-

set ja täysin ehjät. Maabetonimassan sekoitusajan tulee olla vähintään 30 sek. siitä lukien, kun kaikki ainekset on lisätty sekoittajaan. Hyvän sekoittumisen saavuttamiseksi tarvittava sekoitus aika riippuu kylläkin huomattavasti itse sekoittimesta ja sen kunnosta sekä sekoitettavan kiviaineksen laadusta.

Maabetonimassan kuljetus levityskohteeseen voidaan suorittaa tavallisella kuorma-autolla, sillä erottumista massassa ei yleensä pääse tapahtumaan pienen kosteuspitoisuuden takia. Mikäli ajomatka on pitkä ja sää epäedullinen, massa on syytä peittää kuljetuksen ajaksi haihtumisen pienentämiseksi.

Massan levitys suoritetaan asfaltin- tai sepelinlevittimellä, joissa on esitiivistävä tärytin. Ennen massan levitystä on alusta kasteltava, mikäli se on kuiva, jotta tiivistyksen aikana massa säilyisi sopivan kosteana riittävän kauan. Massan levityksen ja pinnan muotoilun kannalta on edullista, jos massan vesipitoisuus on alle optimin. Kastelu on siinä tapauksessa suoritettava ennen tiivistämistä. Maabetonimassan levitys on tarkoituksenmukaista suorittaa siten, että työsaumojen lukumäärä saadaan sekä pituus- että poikkisuunnassa mahdollisimman pieneksi. Levityksen tulisi tapahtua mikäli mahdollista kahdella levittimellä, jotka kulkevat porrastettuina rinnakkaisilla kaistoilla. Maabetonimassan porrastetussa levityksessä ei massaa saa levittää ensimmäisellä levittimellä niin pitkälle, että kestää yli $1/2$ tuntia ennen kuin viereinen kaista saa seoksensa.

Laajempia alueita kuten lentokenttien kiitoratoja, varastoalueita jne. stabiloitaessa on edullista jakaa alue osa-alueisiin, joiden pituus riippuu työtehosta ja työvuorojen pituuksista. Käännöskohdat jätetään auki ja stabiloidaan jälkeenpäin.

Massan levitys on suoritettava niin paksuna kerroksena, että se tiivistettynä täyttää asetetut vaatimukset.

Tiivistys ja jälkihoito suoritetaan samalla tavalla kuin paikallasekoitusmenetelmässä.

2.3 VALVONTA SEMENTTILUJITUKSESSA

2.31 Yleistä

Jotta saavutettaisiin asetettu tavoite rakenteen kantavuuden ja yleensä sen liikennöitävyyden parantamisessa, tulee val-

vonnassa kiinnittää huomiota siihen, että työ tehdään suunnitelmien ja työselityksessä annettujen määräysten mukaisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä maabetonimassan oikeaan vesi- ja sementtipitoisuuteen sekä riittävän tehokkaaseen tiivistykseen.

Stabilointiajankohdan lämpötilan tulee olla $+5^{\circ}\text{C}$ yläpuolella työn aikana sekä vielä noin 2 viikon verran sen päättymisen jälkeen. Tällöin maabetoni ehtii saavuttaa tarpeellisen lujuuden ennenkuin se jäätyy. Viileänä aikana sementin sitoutuminen tapahtuu huomattavasti hitaammin kuin lämpimänä aikana, joten tällöin raskaan liikenteen salliminen maabetonin päällä voi tapahtua vasta 10—14 vrk kuluttua stabiloinnista.

Pitkällisten sateiden aikana maaperä kastuu syvemmältä ja kantavuus laskee myös jonkin verran. Tiivistyminen on tällöin heikkoa, joten stabiloiminen saadaan aloittaa vasta sen jälkeen, kun liika kosteus on poistunut maasta. Stabilointi on keskeytettävä runsaiden sateiden ajaksi. Rankkasateen uhatessa työt on keskeytettävä heti ja valmis, tuore maabetoni on suojattava muovikelmuilla tai pressuilla. Puolen vuorokauden ikäisenä maabetoni jo kestää sateen vaikutukset. Eri työvaiheiden on seurattava nopeasti toisiaan. Sementin (tai massan) levitys on siis suoritettava sellaisissa työjaksoissa, että tiivistys saadaan suoritettua loppuun 2 tunnin kuluessa massan valmistuksesta. Jos tiivistys tapahtuu 2—4 tuntia sekoituksen jälkeen, niin massaa tulee sekoittaa joka 20. minuutti. Tauon kestäessä yli 4 tuntia massaan tulee sekoittaa lisää sementtiä harkinnan mukaan.

Valvonnassa tulee käyttää tarkkailulomaketta, kuva 3. Ks. myös kohta 1.31 viimeinen kappale.

2.32 Valvonta muokkauksen ja sekoituksen aikana

Repimis- ja muokkausvaiheessa tarkkaillaan, edustavatko ennakkokokeissa tutkitut näytteet stabiloitavan materiaalin ominaisuuksia. Laborantin tulee tarkkailla kiviaineksen kivisyyttä, rakeisuutta ja vesipitoisuutta. Tarvittaessa on suoritettava seulonta- ja humuskokeita sekä vesipitoisuuden määrittäksiä. Mikäli rakeisuus suuremmalla alueella poikkeaa

huomattavasti ennakkokokeitten arvoista, tulee kiviainek-
sella tehdä kaikki normaalisti suoritettavat ennakkokokeet
ja määrätä sementtiprosentti näiden kokeiden perusteella
uudestaan.

Ks. myös kohta 1.32. Sementtipitoisuusmäärittäystä tehdään
samalla tavoin ja samoin vaatimuksin kuin kalkkipitoisuus-
määrittäystä.

Maa—sementtiseoksen vesipitoisuuden tulee olla ± 1 %
yksikön tarkkuudella optimivesipitoisuudessa tiivistyksen
alkamishetkellä. Sementin lisäksi kuivattaa maa-ainesta ta-
vallisesti 1—2 %-yksikköä.

2.33 Tiiviys- ja lujuustarkkailu

Tiiviys- ja lujuustarkkailu suoritetaan kuten kalkkistabiloin-
nissa (ks. luku 1.33) lukuunottamatta seuraavia eroavai-
suuksia:

Sementtistabiloinnissa koekappaleet on sullottava tunnin ku-
luessa sementin levityksen jälkeen. Koekappaleet säilytetään
luvun 2.132 kohdan 5 mukaisesti puristuslujuuskokeita var-
ten.

Jakavaa tai kantavaa kerrosta vastaavan maabetonikerrok-
sen keskimääräinen tiiviysvaatimus on vähintään 97 % pa-
rannetusta proctortiiviydestä. Alempana olevassa maabeto-
nikerroksessa tiiviyn keskiarvon tulee olla vähintään 95 %.
Työvuoron aikana tiivistetyn massan tiiviysasteen tulee täyt-
tää em. tiiviysvaatimukset. Yksittäistuloksen tulee olla vas-
taavasti ≥ 92 ja ≥ 90 % parannetusta proctortiiviydestä.

Työn laadun tarkkailua on suoritettava myös lujuuden osal-
ta. Puristuslujuuskokeet suoritetaan samoilla koekappaleilla,
joita käytetään kuivatilavuuspainon määrittämiseen. Puris-
tuslujuuskokeita tehdään sama määrä kuin tiiviysmäärittäyk-
siä, siis 10 kpl ensimmäisen työvuoron aikana ja sen jälkeen
2 kpl jokaista alkavaa 2000 m² kohti. Koska tiedot saavute-
tuista lujuuksista saadaan vasta 7 vrk:n kuluttua, ei sementti-
pitoisuuden eikä tiiviyn tarkkailuvaatimuksista ole varaa
poiketa. Puristuslujuuden keskiarvon tulee olla 0,9 kertaa
suunnittelulujuus, joka on esitetty luvussa 2.122. Valmiin
maabetonin lujuuden kehitystä arvioitaessa tulee ottaa huo-

mioon lämpötilan vaikutus lujuuden kehitykseen. Puristuslujuuden tulee 1 vrk:n ikäisenä olla vähintään 45 % 7 vrk:n ikäisen lieriön suunnittelulujuudesta. Yhden vuorokauden ikäisen koekappaleen puristuslujuuteen tulee suhtautua tietyllä varauksella, sillä kiviaineksessa olevat orgaaniset aineet saattavat hidastaa sementin sitoutumista huomattavasti. Jotta lujuustarkkailussa voitaisiin käyttää 1 vrk:n ikäisen koekappaleen puristuslujuutta, tulisi selvittää etukäteen riittävän monella koekappaleella mahdollisen humuksen vaikutus sementin sitoutumiseen.

2.34 Valvonta lujituksen jälkeen

Sivukaltevuus, tasaisuus

Maabetonin yläpinnan sivukaltevuuksien tulee olla samat, mitkä TVL:n normaalimääräyksissä on määrätty tien eri päällysrakenneluokille. Samoin maabetonin korkeus- ja tasaisuusvaatimusten tulee täyttää julkaisun Tvh 2.816 luvussa 3.4 esitetyt päällysrakennekerrosten vastaavat vaatimukset. Jälkitarkastuksessa tutkitaan heikolta vaikuttavat kohdat rautakankea ja lapiota käyttäen. Todetut heikot kohdat revitään auki, lisätään sementtiä ja vettä tarpeen mukaan ja tiivistetään uudelleen.

Kantavuuden tutkimiseksi suoritetaan levykuormituskokeita samoilta paaluilta kuin ennakkotutkimuksissa, sen jälkeen kun maabetoni on saavuttanut 28 vrk:n iän. Kantavuusarvon tulee täyttää julkaisussa Tvh 2.816 esitetyt kantavuusvaatimukset. Stabiloinnin jälkeen tulee huolehtia siitä, että maabetoni pysyy kosteana noin viikon. Raskaiden ajoneuvojen liikkuminen tulee rajoittaa tuoreen maabetonin päällä. Kevyt autoliikenne voidaan sallia 2—3 päivän kuluttua, raskas liikenne viikon kuluttua stabiloinnista, jos nopeudet pidetään suhteellisen alhaisina (n. 30—50 km/h).

Maabetonin pinta tulee pitää puhtaana irrallisista aineksista niin kauan kuin se on alttiina liikenteen vaikutuksille. Jos kosteuden säilyttämiseen maabetonissa on sen päällä käytetty hiekkaa tai hietaa, on se poistettava huolellisesti harjaamalla ennen päällysteen tekoa.

2.35 Valvonta asemasekoitusmenetelmässä

Käytettäessä kiinteää sekoitusasemaa massan valmistukseen vähenevät valvontatoimenpiteet massan valmistuksen ja levityksen osalta huomattavasti. Sementin annostelua voidaan tarkkailla siten, että seurataan tehtyä massamäärää sekä sementin kulutusta. Veden jakelua tarkkaillaan siten, että valmiista massasta otetaan vähintään yksi näyte jokaista valmistettua 200 m³:n massamäärää kohti. Näyte on otettava myös silloin, kun kiviaineksen rakeisuus tai vesipitoisuus aiheuttavat muutoksia suhteitusohjearvoihin. Aurinkoisina ja tuulisina päivinä massa on suojattava peitteellä kuljetuksen aikana. Puristuslujuuskokeita varten massa otetaan massan levitimestä. Alusrakenteen korkeusasema ja kaltevuudet tulee tarkistaa vaaitsemalla ja sihtilappujen avulla ennen massan levitystä. Muilta osin em. valvontaohjeet soveltuvat myös asemasekoitusmenetelmää käytettäessä. Laadun valvontakokeiden määrää voidaan harkinnan mukaan tällöin hiukan vähentää, mikäli tarkkailutulokset jatkuvasti näyttävät pysyvän tasalaatuisina ja vaatimukset täyttyvinä.

2.36 Kustannustarkkailu ja selvitykset

Stabilointitekniikan ja myöskin näiden ohjeiden kehittämisen kannalta on tärkeää, että stabilointityön päätyttyä kerätään yhteen tutkimustulokset ja suoritetaan jälkilaskenta kustannusten selvittämiseksi. Jälkilaskennan tulokset esitetään kuvassa 10 annetun mallin mukaisesti.

Selvitysten avulla saadaan vaivattomasti selville työn laadun taso ja voidaan valvoa, että tehtäväksi määrätty tutkimukset suoritetaan asianmukaisesti. Työn valmistuttua käytetään laadittuja selvityksiä laadunarvosteluperusteina. Myöhemmin ilmenevien vaurioiden syitä sekä tarvittavia korjaustoimenpiteitä voidaan myös selvittää näiden yhteenvetojen pohjalta.

Yhteenvedot kustannuksista ja tutkimustuloksista on lähetettävä tiedoksi tie- ja vesirakennushallituksen maatutkimustoimistolle.

3. KIRJALLISUUTTA

- P. T. Sherwood: The effect of soil organic matter on the setting of soil-cement mixtures. Road Research Technical Paper n:o 61 v. 1962. London.
- Fr. Balduzzi: Bodenmechanik für den Strassenbau (II Nordiska Konferensen om Cementbundna Material och Betongbeläggningar 1966). Suom. dipl.ins. S. Kainu: Maarakennustekniikka tienrakentamista varten.
- E. Lehtinen: Tutkimuksia kalkin soveltuvuudesta tienrakenukseen, VTT, Helsinki, 1968.
- R. Hirt: Experimentelle Untersuchungen zur Bodenstabilisierung mit Kalk, insbesondere für deren Anwendung im Wald- und Güterstrassenbau. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, no 82, Zürich 1969.
- V. Kuonen: Grundlagen der Bodenstabilisierung mit Kalk. (Användning av cement och kalk i vägbyggnad. III Nordiska Konferensen, Aulanko 1970.
- P. Markkanen: Maabetoni, sementillä ja kalkilla lujittaminen, Sementtiyhdistys. Helsinki 1970.
- R. Springenschmied: Zur Technologie und Praxis der Bodenverfestigung mit Zement. Strassenbau-Technik N:o 4.15 Februar 1963.
- Zementgebundene Tragschichten in Europa. Betonstrassen — Jahrbuch 1967/68. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.v. Düsseldorf.
- Karl Vogt: Maaperän lujittaminen sementillä ja kalkilla. Rakennustaito, n:ot 4 ja 7. 1968.
- Bodenstabilisierung mit Zement und Magerbeton im europäischen Strassenbau, Beton-Verlag Gmbh. Düsseldorf. 1970.

Korjattuna kohdan 1.31 tulee olla

1.31 Yleistä

Valvontatoimenpiteet riippuvat suuresti kalkin käyttötarkoituksesta. Maalajin maarakennusteknisiä ominaisuuksia parannettaessa tarkkaillaan lähinnä saavutettuja tuloksia, ovatko ne odotusten mukaisia.

Varsinaisissa lujitustapauksissa valvonnan tulee kohdistua niihin seikkoihin, joilla on merkitystä lujitetun kerroksen lujuuden muodostumisessa. Erityistä huomiota on kiinnitettävä maa—kalkkiseoksen sideaine- ja vesipitoisuuden sekä tiiviyn tarkkailuun. Lujituksen jälkeen on tarkastettava, täyttääkö lujitettu tieosa alusrakenteelle asetetut, yleiset vaatimukset (julkaisu Tvh 2.816). Mikäli maapohjan kantavuus on lujituksesta huolimatta jäänyt alle 750 kg/cm² ei lujitettua kerrosta voi lukea päällysrakenteen osaksi.

Stabilointiajankohta on valittava niin, että sääolosuhteet eivät vaikeuta työtä tarpeettomasti. Kalkkilujitustyöt tulee tehdä noin 2 kk ennen maan jäätymistä, jolloin sitoutumisreaktioille jää riittävästi aikaa.

Työvuoroittain tulee pitää kirjaa työmaalle saapuneista ja käytetyistä raaka-aineista sekä valmiin lujitetun pinnan pinta-alamääräistä. Samoin on merkittävä ylös työvaiheen aikana vallinnut sää, tehdyt kokeet, keskeytykset ja muut työtulokseen vaikuttavat seikat kuten koneet, laitteet sekä sekoitus- ja jyräskerrat. Valvonnassa tulee käyttää tarkkailulomaketta, kuva 3.

Kuva 10

Esimerkki kustannusten laskimisesta

KANTAVAN KERROKSEN SITOMINEN SEMENTTILÄ		KORSO - HAKKILA			
TYÖPÄT RESURSSIT RYHMITTÄIN	Resurssin nimi ja m	Menekki/suoritusyksikkö	TAB		Huomautuksia
			a'-hinta/ res.yksikkö	kustannukset suoritusyks.	
1	2	3	4	5	
Kietyt					
Kietyt stabiloinnissa	4-16M	0,09967	3,36	0,335	
" paikkaukseen	4M	0,00267	3,36	0,009	
Konetyö					
Tiepohjan repiminen	PE25R	0,00568	92,40	0,525	
Kuokaus	TH10R	0,00937	47,00	0,440	
Sekoitus	TH10R	0,00568	47,00	0,267	
Sekoituskone		0,00586	45,00	0,264	
Huotolla	TH10R	0,00535	40,00	0,214	
Tiivistys	JKOQ	0,00468	18,00	0,084	
Tiivistys	JTO3	0,00050	20,00	0,010	
K ja S kuorma	TRO6K	0,00167	11,00	0,018	
Vesipumppu		0,00105	2,00	0,002	
Paikkaus	TH10R	0,00067	47,00	0,031	
Materiaali					
Murskesora	0-18	0,07670	5,12	0,393	
Kalkki		2,50836	0,0725	0,182	
Sementti		16,03951	0,0742	1,191	
Sementti paikkaukseen		0,33333	0,0742	0,025	
Kuljetukset					
Kalkki ja sementti	KA	0,15050	0,75	0,113	
Murskesora (0-18)	KA	0,07670	4,85	0,372	
Vesi	KA	0,00288	12,60	0,034	
Huolto- ja (arvio)	KA	0,00151	12,60	0,019	
Paikallinen valvonta					
Työnjohto	rkm	0,01338	5,00	0,067	
Laborantti	AM	0,00756	3,62	0,027	

Sosiaalikulannukset 20 % ja yleiskunt. 25% 4,622
Yht. 6,280 mk/m²